



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING INVERSE TIME*  
*OVERCURRENT RELAY* DENGAN METODE *ADAPTIVE*  
*MODIFIED FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM  
KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN**

Januardi Budi Laksono  
NRP 07111440000113

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING INVERSE TIME*  
*OVERCURRENT RELAY* DENGAN METODE *ADAPTIVE*  
*MODIFIED FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM  
KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN**

Januardi Budi Laksono  
NRP 07111440000113

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

**PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING INVERSE TIME*  
*OVERCURRENT RELAY* DENGAN METODE *ADAPTIVE*  
*MODIFIED FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM  
KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN**

Januardi Budi Laksono  
NRP 07111440000113

Advisor  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Ir. Sjamsjul Anam, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Perhitungan Time Dial Setting Inverse Time Overcurrent Relay dengan Metode Adaptive Modified Firefly Algorithm pada Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2018

Januardi Budi Laksono

07111440000113



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**PERHITUNGAN TIME DIAL SETTING INVERSE  
TIME OVERCURRENT RELAY DENGAN METODE  
ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM PADA  
SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V  
BALIKPAPAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I,**

**Dosen Pembimbing II,**



**Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.**

**NIP. 196603181990101001**



**Ir. Sjamsjul Anam, MT.**

**NIP. 196307251990031002**





*Halaman ini sengaja dikosongkan*




# **PERHITUNGAN *TIME DIAL SETTING INVERSE* *TIME OVERCURRENT RELAY* DENGAN METODE *ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM* PADA SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN**

Nama : Januardi Budi Laksono  
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dosen Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## **ABSTRAK**

Sebuah sistem proteksi yang baik harus dapat mengamankan dan meminimalisir suatu gangguan dengan cepat dan tepat sehingga tidak menimbulkan hal-hal yang tidak diinginkan seperti kerusakan alat yang lebih parah, terhentinya suplai daya, dan bahaya bagi manusia. Untuk mendapatkan sistem proteksi yang lebih handal, maka diperlukan adanya koordinasi proteksi yang menghubungkan satu rele dengan rele yang lain. Saat terjadi suatu gangguan dalam sistem tenaga listrik, *circuit breaker* harus dapat mengamankan gangguan dengan cara membuka. Urutan terbukanya *circuit breaker* yang benar adalah diawali dengan *circuit breaker* yang paling dekat dengan sumber gangguan dan diteruskan dengan *circuit breaker backup*. Hal penting yang harus diperhatikan dari koordinasi proteksi khususnya pada rele arus lebih adalah pengisian parameter TDS (*Time Dial Setting*). TDS mengatur waktu operasi rele dalam mengamankan suatu gangguan. Umumnya nilai TDS ditentukan menggunakan perhitungan manual untuk mendapatkan nilai TDS minimum. Namun untuk mendapatkan nilai TDS yang tepat dalam pengkoordinasian dengan rele lain masih menggunakan metode *trial and error* yaitu dengan menggeser kurva sampai mendapatkan nilai CTI yang dirasa tepat, seperti yang terjadi pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan. Untuk memudahkan dan mendapatkan hasil TDS yang tepat maka dapat digunakan suatu algorithma khusus. Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang cara perhitungan *time dial setting inverse time overcurrent relay* dengan metode *adaptive modified firefly algorithm* pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan untuk mendapatkan nilai TDS yang minimum. Hasil dari tugas akhir ini adalah



mendapatkan nilai TDS minimum pada beberapa jenis tipikal, rata rata waktu operasi rele ketika menjadi rele utama adalah 0,213 detik dan rata rata perhitungan akan konvergen pada iterasi ke 7,2.

**Kata kunci:** koordinasi proteksi, *time dial setting*, *adaptive modified firefly algorithm*



# ***TIME DIAL SETTING CALCULATION OF INVERSE TIME OVERCURRENT RELAY WITH ADAPTIVE MODIFIED FIREFLY ALGORITHM METHOD AT PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN ELECTRICAL SYSTEM***

Name : Januardi Budi Laksono  
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Advisor II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

## ***ABSTRACT***

*A good protection system must be able to secure and minimize a disturbance quickly and precisely so there is not undesirable things such as more severe equipment damage, cessation of power supply, and danger to humans. To get a more reliable protection system, it is necessary to coordinate the protection that connects one relay with another relay. In the event of an interruption in the electrical system, the circuit breaker must be able to secure interference by opening. The exact opening order of the circuit breaker is preceded by the circuit breaker closest to the fault source and forwarded by the circuit breaker backups. The important thing to note from the coordination of protection, especially on the relay current is filling TDS (Time Dial Setting) parameters. TDS sets the relay operation time in securing an interruption. Generally TDS value is determined using manual calculation to get minimum TDS value. But to get the correct TDS value in coordinating with other relay still use the method of trial and error by shifting the curve until it gets a proper CTI value, as happened to the electrical system at PT. Pertamina RU V Balikpapan. To facilitate and get the right TDS results can be used a special algorithm. In this final project will be discussed about how to calculate time dial setting inverse time overcurrent relay with adaptive modified firefly algorithm method on electrical system at PT. Pertamina RU V Balikpapan to get minimum TDS value. The results of this final project is to get the minimum value of TDS on some kind of typical, average operating time of the relay when it became the main relay is 0.213 seconds, and average calculation will be convergen on iteration to 7.2.*



**Keywords:** *coordination protection, time dial setting, adaptive modified firefly algorithm*



## KATA PENGANTAR


*Alhamdulillah* Robbil 'Alamin, Puji Syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan hidayahnya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam penulisan Tugas

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia petunjuk-Nya, dan memberikan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini
2. Kedua orang tua tercinta, Ibu Nur Handayani dan Bapak Moch. Umar yang selalu memberikan doa serta dukungan tanpa henti . Semoga Allah SWT selalu melindungi mereka.
3. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. Dan Bapak Ir. Sjamsjul Anam, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan perhatiannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Elektro ITS.
5. Seluruh rekan Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) ITS atas segala dukungan, bantuan, kebersamaan, dan kerjasamanya. Guntur, Qiput, Indra, Fauzan, Tegar, Fahmi, Wanto, Hery, Oji, Azha, Nafis, Mbodo, Bram, Ghiffari, Alief
6. Teman-teman seperjuangan angkatan e54 atas dukungan dan kerja samanya selama masa kuliah hingga penyusunan Tugas Akhir ini
7. Teman-teman kontrakan W-303 atas dukungan dan kerja samanya selama berada di Surabaya. Aden, Guntur, Fauzan, Akhid, Maul, Zaki, Stanley, Kahfi.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih terdapat kesalahan pada penulisan Tugas Akhir ini, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang





membangun untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penelitian yang akan datang.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

### JUDUL

### PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

### LEMBAR PENGESAHAN

### ABSTRAK ..... i

### ABSTRACT ..... iii

### KATA PENGANTAR..... v

### DAFTAR ISI..... vii

### DAFTAR GAMBAR..... ix

### DAFTAR TABEL ..... xiii

### BAB 1 PENDAHULUAN ..... 1

#### 1.1 Latar Belakang Masalah ..... 1

#### 1.2 Perumusan Masalah ..... 2

#### 1.3 Batasan Masalah ..... 2

#### 1.4 Tujuan Tugas Akhir ..... 3

#### 1.5 Metodologi..... 3

#### 1.6 Sistematika Penulisan ..... 4

#### 1.7 Relevansi ..... 5

### BAB 2 PROTEKSI DAN *FIREFLY ALGORITHM* ..... 7

#### 2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik ..... 7

##### 2.1.1 Gangguan Beban Lebih ..... 7

##### 2.1.2 Gangguan Hubung Singkat..... 7

#### 2.2 Rele Arus Lebih..... 8

##### 2.2.1 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse* ..... 9

##### 2.2.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu..... 10

##### 2.2.3 *Setting* Rele Arus Lebih Waktu *Inverse* ..... 11

##### 2.2.4 *Setting* Rele Arus Lebih Waktu Tertentu..... 11

#### 2.3 Koordinasi Proteksi ..... 12

#### 2.4 *Firefly Algorithm* ..... 12

#### 2.5 Penerapan *Adaptive Modified Firefly Algorithm* ..... 13

### BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V

### BALIKPAPAN DAN PERANCANGAN ALGORITHM ..... 15

#### 3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan ..... 15

##### 3.1.1 Data Pembangkitan dan Pembebanan PT. Pertamina RU V Balikpapan ..... 16

##### 3.2.2 Data Transformator Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan ..... 16



3.2 Perancangan <i>Firefly Algorithm</i> .....	18
<b>BAB 4 HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISIS HASIL .....</b>	<b>23</b>
4.1 Penentuan Tipikal Skema Proteksi Pada PT. Pertamina RU V Balikpapan .....	23
4.1.1 Tipikal 1: <i>Lumped Load</i> MC-62LB Menuju Generator STG 2-4.....	23
4.1.2 Tipikal 2: <i>Lumped Load</i> MC-62LB Menuju Ring 33 kV.....	23
4.1.3 Tipikal 3: <i>Lumped Load</i> L-SS38A Menuju Generator STG I- 6 .....	24
4.1.4 Tipikal 4: <i>Lumped Load</i> L-SS38A Menuju <i>Ring</i> 33 kV .....	25
4.2 Data Pasangan Rele dan Arus Hubung Singkat .....	26
4.3 Perhitungan <i>Time Dial Setting</i> (TDS) Secara Manual .....	27
4.3.1 Perhitungan TDS Tipikal 1 Manual .....	27
4.3.2 Perhitungan TDS Tipikal 2 Manual .....	33
4.3.3 Perhitungan TDS Tipikal 3 Manual .....	37
4.3.4 Perhitungan TDS Tipikal 4 Manual .....	40
4.3.5 Rangkuman Nilai TDS Minimum Tiap Rele Perhitungan Manual .....	44
4.4 Perhitungan <i>Time Dial Setting</i> Menggunakan <i>AMFA</i> .....	45
4.4.1 Perhitungan TDS Tipikal 1 .....	46
4.4.2 Perhitungan TDS Tipikal 2 .....	63
4.4.3 Perhitungan TDS Tipikal 3 .....	84
4.4.4 Perhitungan TDS Tipikal 4 .....	98
4.4.5 Rangkuman Nilai TDS Tiap Rele Menggunakan Program .....	115
4.5 Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dan Program .....	116
4.6 Perbandingan Menggunakan Metode FA, MFA, dan AMFA .....	118
<b>BAB 5 PENUTUP .....</b>	<b>121</b>
5.1 Kesimpulan.....	121
5.2 Saran.....	121
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>123</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>125</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	<b>139</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Cara Kerja Rele.....	9
<b>Gambar 2. 2</b> Kurva Rele Waktu <i>Inverse</i> [6].....	10
<b>Gambar 2. 3</b> Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	10
<b>Gambar 3. 1</b> Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan.....	15
<b>Gambar 3. 2</b> Flowchart Algoritma <i>Firefly</i> .....	21
<b>Gambar 4. 1</b> Skema Koordinasi Tipikal 1 dan 2.....	24
<b>Gambar 4. 2</b> Skema Koordinasi Tipikal 3 dan 4.....	25
<b>Gambar 4. 3</b> Parameter <i>Input</i> Tipikal 1 ke Program.....	46
<b>Gambar 4. 4</b> Persebaran Awal TDS Rele 1 Tipikal 1 .....	47
<b>Gambar 4. 5</b> Persebaran Awal TDS Rele 2 Tipikal 1 .....	47
<b>Gambar 4. 6</b> Persebaran Awal TDS Rele 3 Tipikal 1 .....	48
<b>Gambar 4. 7</b> Parameter <i>Output</i> Tipikal 1 dari Program.....	51
<b>Gambar 4. 8</b> Kurva Konvergensi Fungsi Objektif Tipikal 1 .....	52
<b>Gambar 4. 9</b> Pergerakan TDS Rele 1 di Tiap Iterasi Tipikal 1 .....	53
<b>Gambar 4. 10</b> Pergerakan TDS Rele 2 di Tiap Iterasi Tipikal 1 .....	53
<b>Gambar 4. 11</b> Pergerakan TDS Rele 3 di Tiap Iterasi Tipikal 1 .....	54
<b>Gambar 4. 12</b> <i>Delta Error</i> TDS Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 1 .....	55
<b>Gambar 4. 13</b> <i>Delta Error</i> TDS Tiap Iterasi Rele 2 Tipikal 1 .....	55
<b>Gambar 4. 14</b> <i>Delta Error</i> TDS Tiap Iterasi Rele 3 Tipikal 1 .....	56
<b>Gambar 4. 15</b> Koordinasi Proteksi Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus T62B-P.....	57
<b>Gambar 4. 16</b> Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus T62B-P. 58	
<b>Gambar 4. 17</b> Koordinasi Proteksi Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus SS62MB.....	59
<b>Gambar 4. 18</b> Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus SS62MB60	
<b>Gambar 4. 19</b> Koordinasi Proteksi Tipikal 1 ketika Gangguan di 2AL- B(BusD).....	61
<b>Gambar 4. 20</b> Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di 2AL-B(BusD) .....	62
<b>Gambar 4. 21</b> Parameter <i>Input</i> Tipikal 2 ke Program.....	63
<b>Gambar 4. 22</b> Persebaran Awal TDS Rele 1 Tipikal 2 .....	64
<b>Gambar 4. 23</b> Persebaran Awal TDS Rele 2 Tipikal 2 .....	65
<b>Gambar 4. 24</b> Persebaran Awal TDS Rele 3 Tipikal 2 .....	65
<b>Gambar 4. 25</b> Persebaran Awal TDS Rele 4 Tipikal 2 .....	66



<b>Gambar 4. 26</b>	<i>Parameter Output</i> Tipikal 2 dari Program .....	69
<b>Gambar 4. 27</b>	Kurva Konvergensi Fungsi Objektif Tipikal 2 .....	70
<b>Gambar 4. 28</b>	Pergerakan TDS Rele 1 di Tiap Iterasi Tipikal 2.....	71
<b>Gambar 4. 29</b>	Pergerakan TDS Rele 2 di Tiap Iterasi Tipikal 2.....	71
<b>Gambar 4. 30</b>	Pergerakan TDS Rele 3 di Tiap Iterasi Tipikal 2.....	72
<b>Gambar 4. 31</b>	Pergerakan TDS Rele 4 di Tiap Iterasi Tipikal 2.....	72
<b>Gambar 4. 32</b>	<i>Delta Error TDS</i> Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 2 .....	73
<b>Gambar 4. 33</b>	<i>Delta Error TDS</i> Tiap Iterasi Rele 2 Tipikal 2 .....	74
<b>Gambar 4. 34</b>	<i>Delta Error TDS</i> Tiap Iterasi Rele 3 Tipikal 2 .....	74
<b>Gambar 4. 35</b>	<i>Delta Error TDS</i> Tiap Iterasi Rele 4 Tipikal 2 .....	75
<b>Gambar 4. 36</b>	Koordinasi Proteksi Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus T62B-P .....	76
<b>Gambar 4. 37</b>	Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus T62B-P.....	77
<b>Gambar 4. 38</b>	Koordinasi Proteksi Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus SS62MB .....	78
<b>Gambar 4. 39</b>	Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus SS62MB.....	79
<b>Gambar 4. 40</b>	Koordinasi Proteksi Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus 2AL-B (Bus-D).....	80
<b>Gambar 4. 41</b>	Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus 2AL-B (Bus-D).....	81
<b>Gambar 4. 42</b>	Koordinasi Proteksi Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus 2 .....	82
<b>Gambar 4. 43</b>	Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus 2 .....	83
<b>Gambar 4. 44</b>	<i>Parameter Input</i> Tipikal 3 ke Program .....	84
<b>Gambar 4. 45</b>	Persebaran Awal TDS Rele 1 Tipikal 3.....	85
<b>Gambar 4. 46</b>	Persebaran Awal TDS Rele 2 Tipikal 3.....	86
<b>Gambar 4. 47</b>	<i>Parameter Output</i> Tipikal 3 dari Program .....	89
<b>Gambar 4. 48</b>	Kurva Konvergensi Fungsi Objektif Tipikal 3 .....	90
<b>Gambar 4. 49</b>	Pergerakan TDS Rele 1 di Tiap Iterasi Tipikal 3.....	91
<b>Gambar 4. 50</b>	Pergerakan TDS Rele 2 di Tiap Iterasi Tipikal 3.....	91
<b>Gambar 4. 51</b>	<i>Delta Error TDS</i> Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 3 .....	92
<b>Gambar 4. 52</b>	<i>Delta Error TDS</i> Tiap Iterasi Rele 2 Tipikal 3 .....	93
<b>Gambar 4. 53</b>	Koordinasi Proteksi Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus 47 .....	94
<b>Gambar 4. 54</b>	Plot ETAP Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus 47 .....	95



<b>Gambar 4. 55</b>	Koordinasi Proteksi Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus 1 HT .....	96
<b>Gambar 4. 56</b>	Plot ETAP Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus 1HT .....	97
<b>Gambar 4. 57</b>	Parameter <i>Input</i> Tipikal 4 ke Program.....	98
<b>Gambar 4. 58</b>	Persebaran Awal TDS Rele 1 Tipikal 4 .....	99
<b>Gambar 4. 59</b>	Persebaran Awal TDS Rele 2 Tipikal 4 .....	100
<b>Gambar 4. 60</b>	Persebaran Awal TDS Rele 3 Tipikal 4 .....	100
<b>Gambar 4. 61</b>	Parameter <i>Output</i> Tipikal 4 dari Program.....	103
<b>Gambar 4. 62</b>	Kurva Konvergensi Fungsi Objektif Tipikal 4 .....	104
<b>Gambar 4. 63</b>	Pergerakan TDS Rele 1 di Tiap Iterasi Tipikal 4 .....	105
<b>Gambar 4. 64</b>	Pergerakan TDS Rele 2 di Tiap Iterasi Tipikal 4 .....	105
<b>Gambar 4. 65</b>	Pergerakan TDS Rele 3 di Tiap Iterasi Tipikal 4 .....	106
<b>Gambar 4. 66</b>	<i>Delta Error TDS</i> Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 4 .....	107
<b>Gambar 4. 67</b>	<i>Delta Error TDS</i> Tiap Iterasi Rele 2 Tipikal 4 .....	107
<b>Gambar 4. 68</b>	<i>Delta Error TDS</i> Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 4 .....	108
<b>Gambar 4. 69</b>	Koordinasi Proteksi Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 47 .....	109
<b>Gambar 4. 70</b>	Plot ETAP Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 47 .....	110
<b>Gambar 4. 71</b>	Koordinasi Proteksi Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus 1 HT .....	111
<b>Gambar 4. 72</b>	Plot ETAP Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 1 HT ...	112
<b>Gambar 4. 73</b>	Koordinasi Proteksi Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 24 .....	113
<b>Gambar 4. 74</b>	Plot ETAP Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 24 .....	114
<b>Gambar 4. 75</b>	Konvergensi ketika Menggunakan FA .....	118
<b>Gambar 4. 76</b>	Konvergensi ketika menggunakan Metode MFA .....	119
<b>Gambar 4. 77</b>	Konvergensi ketika Menggunakan Metode AMFA....	119



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Parameter koefisien Rele <i>Inverse</i> Standar IEC.....	11
<b>Tabel 3. 1</b> Rangkuman Jumlah Pembangkitan, Pembebanan, dan <i>Demand</i> 16	
<b>Tabel 3. 2</b> Daftar Transformator Tiga Belitan di PT. Pertamina RU V Balikpapan .....	17
<b>Tabel 3. 3</b> Daftar Transformator Dua Belitan di PT. Pertamina RU V Balikpapan .....	17
<b>Tabel 4. 1</b> Data Rele Tipikal 1.....	26
<b>Tabel 4. 2</b> Data Rele Tipikal 2.....	26
<b>Tabel 4. 3</b> Data Rele Tipikal 3.....	27
<b>Tabel 4. 4</b> Data Rele Tipikal 4.....	27
<b>Tabel 4. 5</b> Rangkuman Tipikal 1 .....	44
<b>Tabel 4. 6</b> Rangkuman Tipikal 2 .....	44
<b>Tabel 4. 7</b> Rangkuman Tipikal 3 .....	45
<b>Tabel 4. 8</b> Rangkuman Tipikal 4 .....	45
<b>Tabel 4. 9</b> Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 1 .....	46
<b>Tabel 4. 10</b> Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 1 .....	48
<b>Tabel 4. 11</b> <i>Cost</i> Setiap Populasi Tipikal 1 .....	49
<b>Tabel 4. 12</b> Nilai <i>Cost</i> Minimum Tiap Iterasi Tipikal 1 .....	50
<b>Tabel 4. 13</b> Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 1 .....	63
<b>Tabel 4. 14</b> Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 2 .....	64
<b>Tabel 4. 15</b> Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 2 .....	66
<b>Tabel 4. 16</b> <i>Cost</i> Setiap Populasi Tipikal 2 .....	67
<b>Tabel 4. 17</b> Nilai <i>Cost</i> Minimum Tiap Iterasi Tipikal 2 .....	69
<b>Tabel 4. 18</b> Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 2 .....	84
<b>Tabel 4. 19</b> Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 3 .....	85
<b>Tabel 4. 20</b> Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 3 .....	86
<b>Tabel 4. 21</b> <i>Cost</i> Setiap Populasi Tipikal 3 .....	87
<b>Tabel 4. 22</b> Nilai <i>Cost</i> Minimum Tiap Iterasi Tipikal 3.....	89
<b>Tabel 4. 23</b> Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 3 .....	98
<b>Tabel 4. 24</b> Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 4 .....	98
<b>Tabel 4. 25</b> Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 4 .....	101
<b>Tabel 4. 26</b> <i>Cost</i> Setiap Populasi Tipikal 4 .....	102
<b>Tabel 4. 27</b> Nilai <i>Cost</i> Minimum Tiap Iterasi Tipikal 4 .....	103

<b>Tabel 4. 28</b> Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 4.....	115
<b>Tabel 4. 29</b> Rangkuman Nilai TDS Tipikal 1 Menggunakan Program .....	115
<b>Tabel 4. 30</b> Rangkuman Nilai TDS Tipikal 2 Menggunakan Program .....	115
<b>Tabel 4. 31</b> Rangkuman Nilai TDS Tipikal 3 Menggunakan Program .....	116
<b>Tabel 4. 32</b> Rangkuman Nilai TDS Tipikal 4 Menggunakan Program .....	116
<b>Tabel 4. 33</b> Data Nilai TDS Perhitungan Manual .....	117
<b>Tabel 4. 34</b> Data Nilai TDS Perhitungan melalui Program.....	117



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Dari tahun ke tahun suatu sistem kelistrikan selalu berubah, hal ini harus diimbangi dengan sistem proteksi yang berkembang, mulai dari yang sederhana dengan kemampuan dan fitur yang terbatas hingga sistem yang kompleks yaitu yang memiliki kemampuan lebih baik dalam hal selektivitas dan operasi. Sistem proteksi saat ini membutuhkan analisa yang lebih untuk dapat mengisi parameter dengan baik dan tepat sehingga mendapatkan setting yang optimal [1].

Suatu sistem proteksi harus dapat mengamankan sebuah gangguan dengan cepat dan tepat agar tidak menimbulkan hal hal yang tidak diinginkan seperti, kerusakan yang parah, terganggunya kontinuitas suplai listrik ke beban, dan membahayakan manusia. Peralatan yang digunakan dalam sistem pengamanan umumnya rele arus lebih, rele arus lebih dapat dibagi berdasarkan waktu operasinya menjadi 2, yaitu *inverse time overcurrent relay* (kode ANSI 51) dan *instantaneous relay* (kode ANSI 50)[2] . Rele arus lebih *inverse* digunakan untuk mengamankan gangguan yang berasal dari arus beban lebih peralatan dengan durasi yang relatif lama, sedangkan rele *instantaneous* atau *definite* digunakan untuk mengamankan arus gangguan hubung singkat dengan durasi waktu yang singkat. Dalam suatu sistem tenaga listrik tidak cukup hanya mengandalkan satu rele untuk melokalisir suatu gangguan, dibutuhkan *backup* dari rele lain jika rele utama gagal untuk mengamankan suatu sumber gangguan. Oleh karena itu diperlukan koordinasi antar rele agar tidak terjadi kegagalan proteksi. Dalam penentuan koordinasi antar rele harus diperhatikan beberapa parameter antara lain, bentuk kurva dari masing masing rele, arus *pickup*, *time dial setting* (TDS), serta *time delay* agar tidak terjadi kesalahan urutan operasi[3].

Kurva *Time Current Characteristic* rele *inverse* telah diatur di standard IEC 60255 dan dibagi menjadi empat jenis kurva yaitu, *standard inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long time inverse*. Nilai TDS dapat diisi dengan suatu nilai tertentu untuk mendapatkan koordinasi yang optimal[4]. Pada prakteknya nilai TDS ditentukan melalui perhitungan manual untuk mendapatkan nilai TDS minimal, selanjutnya para teknisi menggeser kurva TCC secara manual dalam pengkoordinasian dengan rele lain hingga mendapatkan nilai CTI yang



dirasa tepat. Namun hal ini tentu membuat pekerjaan semakin lama dan tidak praktis, oleh karena itu digunakan metode algoritma khusus untuk mendapatkan nilai yang optimal salah satunya yaitu dengan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm*, tujuannya adalah mendapat nilai operasi yang minimum, tidak ada kesalahan koordinasi, waktu pengerjaan yang singkat dan mendapatkan nilai TDS yang teliti[5].

PT. Pertamina RU V Balikpapan merupakan perusahaan milik negara yang bergerak di bidang energi meliputi minyak, gas serta energi baru dan terbarukan. Saat ini sumber kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan berasal dari beberapa pembangkit yang terdiri dari 13 pembangkit listrik dengan level tegangan 6.6 kV. Tiap pembangkit terhubung dengan suatu sistem *ring* dengan tegangan 33 kV. Penentuan TDS pada PT. Pertamina RU V Balikpapan masih menggunakan perhitungan secara manual, oleh karena itu pada tugas akhir ini akan dibahas bagaimana cara menentukan TDS yang optimal pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan menggunakan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana perhitungan *time dial setting*, *I pickup*, dan *time delay* untuk rele *inverdse* menggunakan metode *Adaptive Modified Firefly Algorithm* pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan.
2. Bagaimana implementasi nilai TDS yang didapat dari perhitungan menggunakan *Adaptive Modified Firefly Algorithm* pada koordinasi proteksi sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Rele yang *disetting* pada Tugas Akhir ini hanya *inverse time overcurrent relay*, sedangkan rele *instantaneous* dinonaktifkan.
2. Perhitungan TDS dilakukan pada beberapa tipikal.
3. Bentuk kurva yang dipilih adalah IEC *Very Inverse*
4. Rele yang digunakan memiliki jenis dan spesifikasi yang sama.
5. Sebuah Transformator 3 belitan dinonaktifkan untuk menyederhanakan *plant*.
6. Gangguan diasumsikan hanya terjadi pada bus

7. Perhitungan TDS hanya dilakukan pada bagian radial sistem kelistrikan

#### 1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dilakukannya Tugas Akhir ini antara lain:

1. Mendapatkan *time dial setting*, *1 pickup*, dan *time delay* untuk rele *inverse* pada sistem kelistrikan di PT. Pertamina RU V Balikpapan menggunakan *Adaptive Modified Firefly Algorithm*.
2. Mendapatkan koordinasi proteksi yang baik dari implementasi TDS hasil perhitungan menggunakan *Adaptive Modified Firefly Algorithm* pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan

#### 1.5 Metodologi

Metodologi yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi literatur  
Merupakan proses awal yang dilakukan, meliputi pencarian literatur dan referensi baik dari jurnal, paper, diktat dan lainnya yang membahas permasalahan yang sama dan dapat diterapkan sebagai teori penunjang pada tugas akhir ini. Teori penunjang yang terkait meliputi koordinasi proteksi, penentuan *setting* rele *inverse*, standar yang berkaitan, *datasheet* rele dan *Firefly Algorithm*.
2. Pengumpulan data  
Merupakan proses pengumpulan berbagai data yang dibutuhkan dalam penyelesaian permasalahan pada tugas akhir ini, Data yang diperlukan antara lain data *single line diagram* PT. Pertamina RU V Balikpapan, serta peralatan listrik yang meliputi data generator, motor, transformator, bus, saluran dan kabel, serta beban terpasang
3. Pemodelan tipikal koordinasi proteksi  
Memodelkan sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dalam beberapa bentuk tipikal berdasarkan beban terbesar, jarak generator yang terjauh, dan kasus khusus sesuai dengan kebutuhan
4. Simulasi short circuit



Diasumsikan terjadi hubung singkat pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan yang bertujuan untuk mengetahui nilai arus hubung singkat pada bus dan saluran.

5. Perancangan *Firefly Algorithm*

Algoritma *firefly* dapat menentukan nilai yang optimal, yaitu nilai yang maksimum atau minimum. Pada bagian ini akan ditentukan logika berfikir algoritma dan parameter yang menjadi outputnya. Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah mendapatkan nilai *time dial setting* yang minimum.

6. Pengujian *Firefly Algorithm*

Algoritma *firefly* yang telah ada digunakan untuk menghitung nilai *time dial setting* yang minimum. Nilai *time dial setting* yang telah didapatkan akan diimplementasikan pada setting proteksi sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan menggunakan software ETAP 12.6.

7. Analisis hasil pengujian

Nilai *time dial setting* hasil dari algoritma *firefly* akan diuji dengan hitungan manual. Jika nilai TDS hasil algoritma *firefly* memiliki eror yang besar, maka akan dilakukan modifikasi pada algoritma sehingga didapatkan nilai TDS dengan eror yang lebih kecil. Selain itu dilakukan analisa juga terhadap jumlah iterasi, konvergensi algoritma, serta koordinasi waktu antar kurva yang sedang diuji.

8. Pembuatan laporan

Berisi kesimpulan dari hasil analisa perhitungan nilai TDS *inverse time overcurrent relay* pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan, nilai TDS yang diharapkan adalah nilai minimum yang dapat membuat relay bekerja dengan cepat dan terkoordinasi dengan baik

## 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam laporan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab sebagai berikut :

BAB 1: PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika, dan relevansi serta manfaat

BAB 2: PROTEKSI DAN *FIREFLY ALGORITHM*

Berisikan tentang teori yang menjadi landasan tugas akhir ini serta penelitian terdahulu yang terkait

**BAB 3: SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN DAN PERANCANGAN ALGORITHMMA.**

Berisikan tentang sistem kelistrikan yang ada di PT. Pertamina RU V Balikpapan serta beberapa penentuan setting tipikal. Pada bagian ini juga berisikan tentang bagaimana perancangan algorithma *firefly* untuk mendapatkan nilai *time dial setting* (TDS) yang minimum.

**BAB 4: HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL**

Berisikan tentang hasil pengujian terhadap algorithma *firefly* dalam menentukan nilai TDS, selanjutnya akan dianalisa nilai TDS yang didapatkan melalui perhitungan manual untuk menguji keberhasilan program.

**BAB 5: PENUTUP**

Berisikan tentang penarikan kesimpulan dari proses penelitian. Selain itu juga terdapat saran untuk penelitian yang akan datang..

**1.7 Relevansi**

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai rekomendasi bagi PT. Pertamina RU V Balikpapan dalam melakukan setting parameter rele.
2. Dapat digunakan sebagai referensi mengenai studi perhitungan *time dial setting* bagi mahasiswa yang akan mengerjakan Tugas Akhir dengan topik pembahasan serupa.
3. Sebagai wawasan tambahan penggunaan kecerdasan buatan dalam pemecahan masalah di sistem tenaga listrik.





*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB 2**

### **PROTEKSI DAN *FIREFLY* ALGORITHM**

#### **2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik**

Gangguan adalah suatu keadaan abnormal yang terjadi, pada kasus ini adalah keadaan abnormal pada sistem tenaga listrik. Pada kondisi normal, suplai listrik berasal dari sumber dan menuju ke beban. jika terjadi sebuah gangguan maka akan terdapat arus yang nilainya besar pada titik yang mengalami gangguan sehingga kontinuitas suplai ke beban terganggu.

Pada suatu sistem tenaga listrik gangguan dapat diklasifikasikan berdasarkan penyebab gangguan. Gangguan yang umumnya terjadi adalah gangguan beban lebih dan gangguan hubung singkat.

##### **2.1.1 Gangguan Beban Lebih**

Gangguan beban lebih muncul ketika suatu peralatan dioperasikan melebihi ratingnya sehingga arus yang mengalir pada saluran dan peralatan melebihi arus beban penuh, arus ini akan menyebabkan panas berlebih pada peralatan dan dapat memperpendek umur peralatan. Karena beban lebih merupakan suatu keadaan abnormal dan akan membahayakan jika dibiarkan dalam waktu cukup lama maka gangguan beban lebih harus diamankan.

##### **2.1.2 Gangguan Hubung Singkat**

Gangguan hubung singkat merupakan salah satu gangguan yang sering terjadi dalam sistem kelistrikan, gangguan ini umumnya diamankan oleh rele arus lebih waktu tertentu karena besar arus gangguannya cukup besar sehingga harus diamankan dengan secepat mungkin agar kerusakan yang ditimbulkan tidak bertambah parah.

Saat terjadi gangguan hubung singkat, maka impedansi dari sebuah saluran akan lebih kecil daripada saat kondisi normal, hal ini menyebabkan nilai arus meningkat.

Gangguan Hubung singkat dapat dibedakan menjadi gangguan hubung singkat simetris dan asimetris, gangguan singkat simetris yaitu dimana besar arus gangguan yang mengalir dari ketiga fasa nilainya sama. Gangguan hubung singkat simetris antara lain gangguan hubung singkat tiga fasa dan gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah.

1. Hubung singkat tiga fasa ke tanah

Yaitu hubung singkat dimana ketiga fasa saling terhubung. Persamaannya adalah:

$$I_{sc} 3\Phi = \frac{V_{L-N}}{X_1} \quad (2.1)$$

Dimana nilai arus hubung singkat 3 fasa dapat dicari dari pembagian nilai tegangan fasa to netral atau  $V_{L-N}$  dengan nilai reaktansi urutan positif  $X_1$ .

2. Hubung singkat antar fasa

Yaitu hubung singkat yang terjadi ketika terdapat 2 fasa yang saling terhubung. Persamaannya adalah:

$$I_{sc} 2\Phi = \frac{V_{L-L}}{X_1 + X_2} \quad (2.2)$$

Dimana nilai arus hubung singkat 2 fasa dapat dicari dengan pembagian antara nilai tegangan fasa to fasa atau  $V_{L-L}$  dengan penjumlahan antara nilai reaktansi urutan positif  $X_1$  dan negatif  $X_2$ .

3. Hubung singkat satu fasa ke tanah

Yaitu hubung singkat yang terjadi dimana terdapat satu fasa yang terhubung ke tanah. Persamaannya adalah:

$$I_{sc} 1\Phi = \frac{3V_{L-N}}{X_1 + X_2 + X_0} \quad (2.3)$$

Dimana nilai arus hubung singkat 1 fasa dapat dicari dengan pembagian antara nilai tegangan fasa to netral atau  $V_{L-N}$  dengan penjumlahan antara nilai reaktansi urutan positif  $X_1$ , negatif  $X_2$ , dan nol  $X_0$ .

Gangguan hubung singkat asimetris adalah gangguan dimana besar arus gangguan yang mengalir dari ketiga fasa nilainya tidak sama besar. Gangguan hubung singkat asimetris antara lain gangguan hubung singkat dua fasa, dua fasa ke tanah, dan 1 fasa ke tanah.

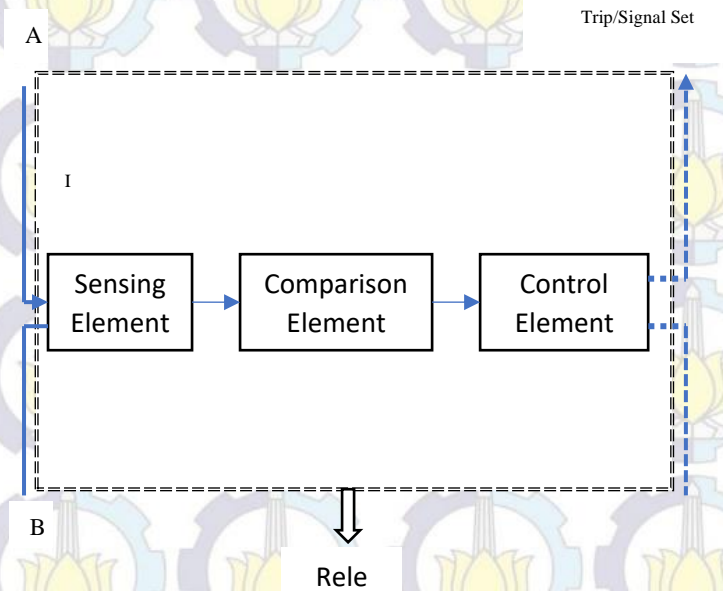
## 2.2 Rele Arus Lebih

Rele merupakan sebuah komponen elektronik yang berfungsi untuk mendeteksi jika terjadi gangguan atau anomali pada suatu sistem kelistrikan yang selanjutnya akan memberi perintah pada *circuit breaker* untuk beroperasi untuk melepaskan bagian yang mengalami gangguan.

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja ketika ada gangguan berupa arus lebih yang mengalir di sistem kelistrikan. Rele akan bekerja ketika



arus yang mengalir melebihi arus yang di setting atau arus pickup. Rele arus lebih dapat dibedakan menurut waktu operasinya menjadi 2 jenis, yaitu relay arus lebih waktu tertentu dan rele arus lebih waktu *inverse*

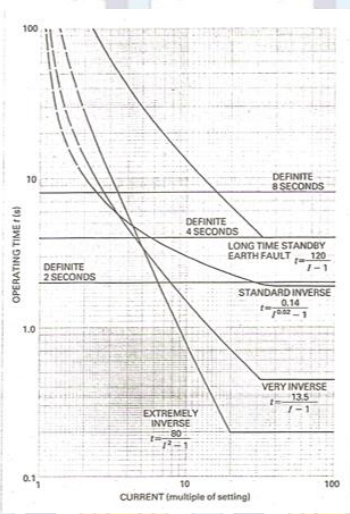


**Gambar 2. 1** Cara Kerja Rele

### 2.2.1 Rele Arus Lebih Waktu *Inverse*

Merupakan jenis rele yang waktu operasinya berbanding terbalik dengan besar arus gangguan, semakin besar arus gangguan maka waktu rele beroperasi makin cepat pula. Ada beberapa macam bentuk kurva yang dapat dipilih antara lain, *standard inverse*, *very inverse*, *extremely inverse*, dan *long time inverse*

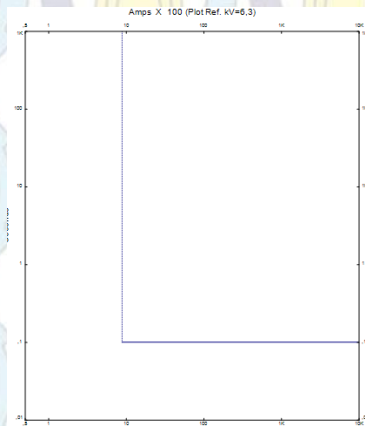




**Gambar 2. 2** Kurva Rele Waktu *Inverse* [6]

### 2.2.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Merupakan jenis rele yang waktu operasinya telah ditentukan pada waktu tertentu, ketika ada arus yang melebihi nilai arus *pick up* maka rele akan selalu beroperasi sesuai dengan waktu yang telah ditentukan



**Gambar 2. 3** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Dari gambar 2.3 terlihat bahwa rele akan mulai bekerja pada nilai arus *pickup* yang telah diatur, sedangkan waktu operasi rele tergantung dari *setting* waktu *delay* yang diatur.

### 2.2.3 Setting Rele Arus Lebih Waktu Inverse

Dalam melakukan setting rele arus lebih waktu *inverse*, terdapat beberapa parameter yang harus diisi antara lain, *I pick up* dan *Time Dial Setting*. Rele akan mulai beroperasi ketika arus yang mengalir lebih besar atau sama dengan *I pick up*, sedangkan *Time Dial Setting* akan menentukan waktu operasi dari rele[7].

Pada *British Standard 142* dijelaskan bahwa batas untuk setting nilai *Iset* rele arus lebih waktu *inverse* adalah 1,05 FLA – 1,3 FLA, sedangkan untuk menentukan nilai *pickup* adalah dengan membagi nilai *Iset* dengan nilai belitan primer CT. Parameter lain yang harus diisi adalah nilai *Time Dial Setting* (TDS), sesuai standar yang telah ditetapkan oleh IEC.

$$t_{op} = \frac{k \times TDS}{\left(\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1\right) \times \beta} \quad (2.4)$$

**Tabel 2. 1** Parameter koefisien Rele *Inverse* Standar IEC

<i>Tipe Kurva</i>	<i>k</i>	$\alpha$	$\beta$
Long Time Inverse	120	1	13,33
Standard Inverse	0,14	0.02	2,97
Very Inverse	13,5	1	1.5
Extremely Inverse	80	2	0,808
Ultra Inverse	315,2	2.5	1

$t_{op}$  adalah waktu operasi dari rele, TDS adalah nilai *time dial setting* yang akan dicari, *I* adalah arus hubung singkat 3 fasa,  $I_p$  adalah *Iset*, nilai  $\alpha, \beta$  adalah sebuah konstanta yang nilainya tergantung dari bentuk kurva yang dipilih.

### 2.2.4 Setting Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Dalam melakukan setting rele arus lebih waktu tertentu, terdapat beberapa parameter yang harus diisi antara lain, *I pick up* dan *Time Delay*. Rele akan mulai beroperasi ketika arus yang mengalir lebih besar atau



sama dengan I pick up, sedangkan *Time delay* akan menentukan waktu operasi dari rele

Berdasarkan *British Standard 142*, nilai setting Iset berada di antara batas 1,6 FLA – 0,8 Isc min, Nilai Isc min adalah besar gangguan hubung singkat 2 fasa dalam kondisi *steady state* atau 30 cycle, sedangkan untuk menentukan nilai pickup adalah dengan membagi nilai Iset dengan nilai belitan primer CT.

### 2.3 Koordinasi Proteksi

Untuk mendapatkan sistem proteksi yang handal maka dibutuhkan adanya koordinasi proteksi. Rele terdekat dengan sumber gangguan harus dapat menghilangkan sumber gangguan dengan secepat mungkin, jika rele tersebut gagal maka rele di atasnya harus dapat menjadi backup untuk menghilangkan gangguan. Rele harus terkoordinasi secara baik pada setting waktu dan arus *pickup* agar tidak terjadi kesalahan koordinasi atau kesalahan urutan trip[8].

Dalam mengkoordinasikan rele harus mempertimbangkan *coordination time interval (CTI)* yaitu waktu tunggu minimum rele *backup* untuk beroperasi ketika terjadi gangguan agar tidak terjadi kesalahan *trip* atau *trip* secara bersamaan antara rele utama dan rele *backup*. Berdasarkan standar IEEE 242 [9], untuk rele elektromekanik waktu *circuit breaker* terbuka adalah antara 0,04-0,1 detik, waktu *overtravel* dari rele adalah 0,1 detik, dan untuk faktor keamanan adalah 0,12-0,22 detik. Sehingga total waktu CTI adalah 0,2 – 0,4 detik. Pada rele *static* dan *digital*, waktu *overtravel* rele dapat diabaikan, sehingga CTI dapat dianggap 0,2 detik.

### 2.4 Firefly Algorithm

Algoritma ini berdasarkan pada pola kebiasaan dari kunang kunang serta cahaya yang dihasilkannya. Algorithma ini dikembangkan di Universitas Cambridge pada tahun 2007 oleh Dr Xin-She Yang. Ada beberapa hal yang menarik yang terdapat pada algorithma ini. semua kunang kunang adalah *unisex*, sehingga kunang-kunang dapat tertarik pada kunang-kunang lain tidak tergantung dari jenis kelaminnya, melainkan dari intensitas cahayanya. Kunang-kunang yang memiliki intensitas cahaya rendah akan tertarik ke kunang-kunang yang memiliki intensitas cahaya lebih tinggi. Jika tidak ada kunang-kunang yang memiliki intensitas cahaya lebih tinggi, maka kunang-kunang akan



bergerak secara acak. Intensitas cahaya kunang-kunang akan ditentukan oleh fungsi nilai tujuan[10].

*Firefly algorithm* cukup efektif untuk menyelesaikan permasalahan optimasi, FA dapat mengontrol nilai acak yang terjadi dalam proses iterasi sehingga akan dapat lebih cepat mencapai konvergensi dengan mengatur parameter.

Pergerakan kunang-kunang dapat dituliskan dalam persamaan berikut

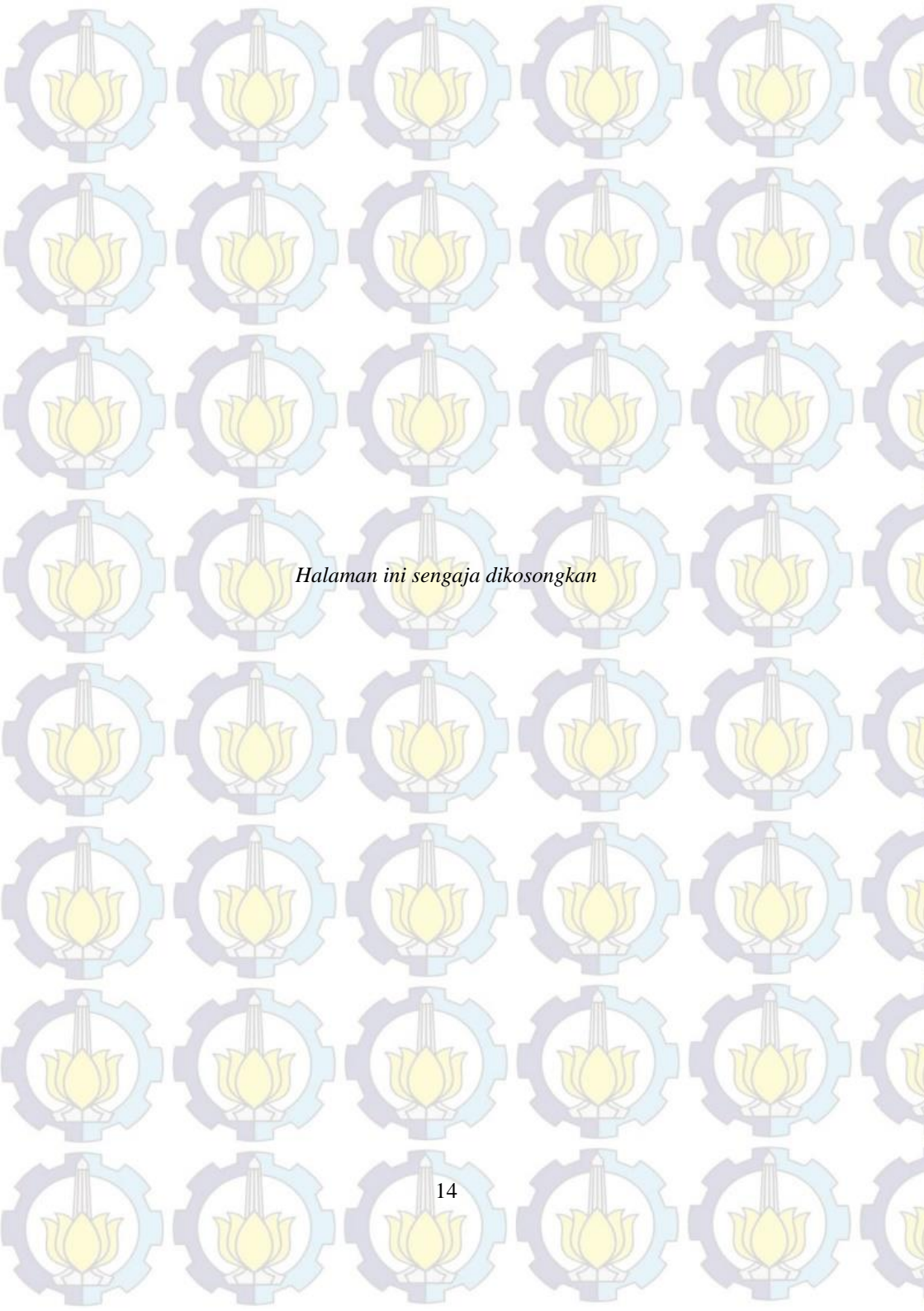
$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon \quad (2.5)$$

$x_i$  menunjukkan posisi dari kunang-kunang  $i$ , sedangkan  $x_j$  adalah posisi dari kunang-kunang lain yang akan dijadikan acuan,  $\beta_0$  menunjukkan ketertarikan dari kunang-kunang, ketika nilai  $\beta_0$  sama dengan 0 maka pergerakannya akan lambat dan acak, nilai  $\alpha$  adalah nilai parameter acak sedangkan  $\epsilon$  adalah nilai vektor acak dari distribusi gaussian.

## **2.5 Penerapan Adaptive Modified Firefly Algorithm**

Pada penelitian sebelumnya, *Adaptive Modified Firefly Algorithm* digunakan untuk menentukan koordinasi rele arus lebih (OCR) pada sistem kelistrikan 4 Bus ketika terdapat DG (*Distributed Generation*), dengan adanya DG, maka akan menimbulkan permasalahan tambahan pada segi proteksi, seperti berubahnya nilai arus hubung singkat. Metode yang umumnya digunakan untuk mendapatkan koordinasi OCR adalah dengan perhitungan manual, namun hal ini akan menyebabkan waktu untuk menuju konvergen lama. Oleh karena itu akan digunakan *Firefly Algorithm* dan *Adaptive Modified Firefly Algorithm* untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dan akan dibandingkan hasilnya.

Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa *Adaptive Modified Firefly Algorithm* dapat menghasilkan waktu operasi rele 41,63% persen lebih rendah daripada ketika menggunakan *Firefly Algorithm*.



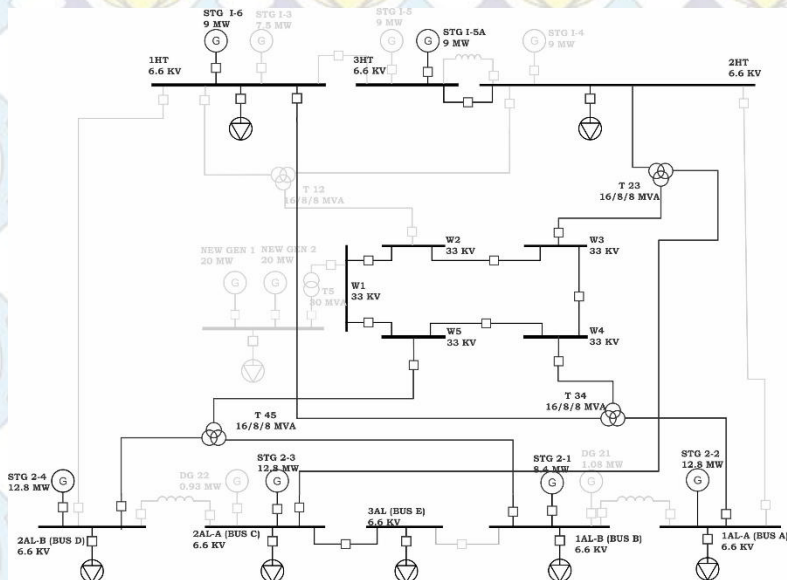
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 3

### SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN DAN PERANCANGAN ALGORITHMMA

#### 3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan

Sistem kelistrikan pada PT. Pertamina RU V Balikpapan disuplai dari 6 generator dari total 13 generator yang berjenis steam turbine generator (STG). 6 Generator tersebut antara lain STG I-6 (9 MW), STG I-5A (9 MW), STG 2-1 (8.4 MW), STG 2-2 (12.8 MW), STG 2-3 (12.8 MW), dan STG 2-4 (12.8 MW). Sistem distribusi kelistrikan terdiri dari 3 level tegangan yang berbeda, 0,38 kV, 6.6 kV, dan 33 kV. Tegangan 33 kV adalah tegangan di sistem *ring* yang berfungsi untuk meningkatkan keandalan sistem. Tegangan 6.6 kV adalah tegangan keluaran generator dan digunakan untuk menyuplai beban berkapasitas besar seperti motor. Tegangan 0.38 kV digunakan untuk menyuplai beban berkapasitas kecil.



**Gambar 3. 1** Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan



### 3.1.1 Data Pembangkitan dan Pembebanan PT. Pertamina RU V Balikpapan

Pada kondisi operasi normal, nilai pembangkitan dan pembebanan pada PT. Pertamina RU V Balikpapan adalah sebesar 34.453 MW, 23.769 Mvar, dan 44.625 MVA, untuk lebih detailnya dapat dilihat pada tabel 3.1

**Tabel 3. 1** Rangkuman Jumlah Pembangkitan, Pembebanan, dan *Demand*

	MW	Mvar	MVA	%PF
Source (Swing Buses)	3.453	4.046	5.319	64.91 Lagging
Source (Non-Swing Buses)	34.000	19.723	39.306	86.50 Lagging
Total Demand	37.453	23.769	44.358	84.43 Lagging
Total Motor Load	33.372	20.624	39.231	85.07 Lagging
Total Static Load	3.819	2.601	4.621	82.65 Lagging
Apparent Losses	0.261	0.544		

### 3.2.2 Data Transformator Sistem Kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan

Pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan terdapat 4 buah transformator tiga belitan yang menghubungkan antar generator dengan bus 33 kV. Data seluruh transformator tiga belitan dapat dilihat pada tabel 3.2:

**Tabel 3. 2** Daftar Transformator Tiga Belitan di PT. Pertamina RU V Balikpapan

ID	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)
T12	16/8/8	33/6.6/6.6
T23	16/8/8	33/6.6/6.6
T34	16/8/8	33/6.6/6.6
T45	16/8/8	33/6.6/6.6

Pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan juga terdapat beberapa transformator 2 belitan yang mengubah tegangan 6.6 kV ke 0.38 kV untuk menyuplai beban berkapasitas kecil. Data seluruh transformator 2 belitan dapat dilihat pada tabel 3.3:

**Tabel 3. 3** Daftar Transformator Dua Belitan di PT. Pertamina RU V Balikpapan

ID	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)
HSTR1	1	6.6/0.38
HSTR2	1	6.6/0.38
HSTR3	1	6.6/0.38
TR61A	1.6	6.6/0.38
TR61B	1.6	6.6/0.38
TR61C	1	6.6/0.38
TR61D	1	6.6/0.38
TR61E	1	6.6/0.38
TR61F	1	6.6/0.38
TR62A	1.6	6.6/0.38



**Tabel 3. 3** Daftar Transformator Dua Belitan di PT. Pertamina RU V Balikpapan (lanjutan)

ID	Kapasitas (MVA)	Tegangan (kV)
TR62B	1.6	6.6/0.38
TR63A	1.6	6.6/0.38
TR63B	1.6	6.6/0.38
TR64A	1	6.6/0.38
TR64B	1	6.6/0.38
TR65A	1	6.6/0.38
TR65B	1	6.6/0.38
TR66A	1.6	6.6/0.38
TR66B	1.6	6.6/0.38
TR67A	1.6	6.6/0.38
TR67B	1.6	6.6/0.38
TR68A	1	6.6/0.38
TR68B	1	6.6/0.38

### 3.2 Perancangan *Firefly Algorithm*

Algoritma firefly digunakan untuk menghitung nilai *time dial setting* (TDS) yang minimum pada sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dengan cepat dan tepat.

Pertama akan dibangkitkan kunang-kunang sebanyak jumlah populasi yaitu 30 kunang-kunang dengan posisi acak, posisi dari tiap kunang-kunang akan mewakili nilai TDS, posisi acak kunang-kunang dibangkitkan dengan mempertimbangkan nilai step dan range TDS dari rele sehingga posisi tiap kunang-kunang berada pada *range* TDS yang diinginkan. Selanjutnya dihitung nilai waktu operasi rele saat menjadi rele



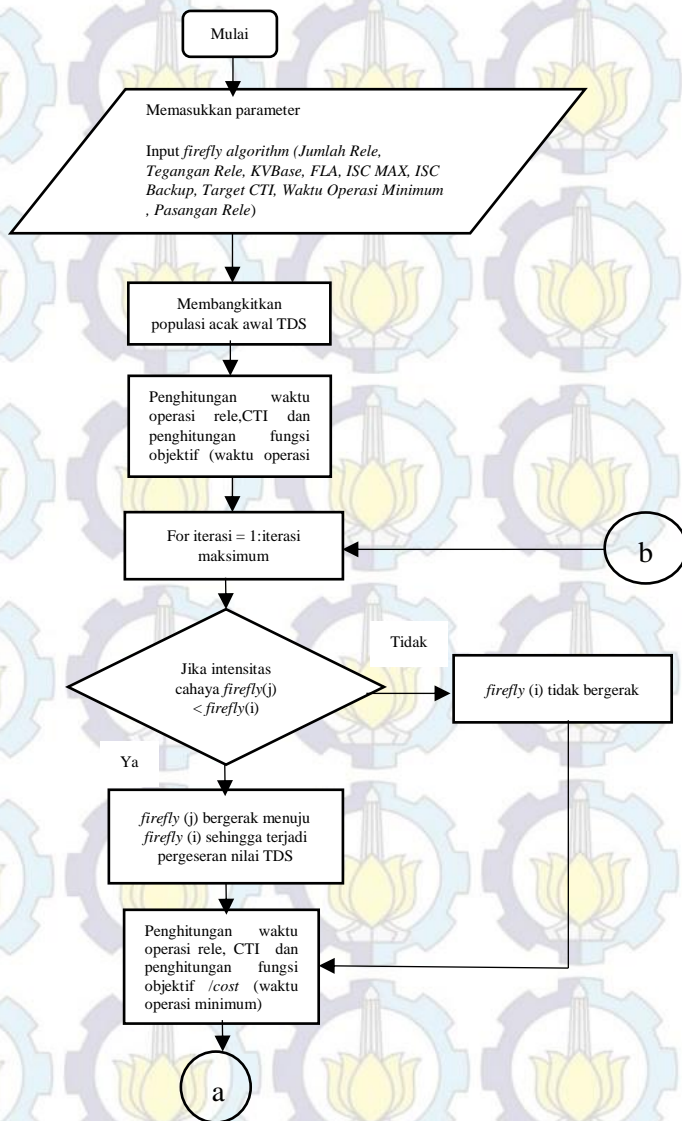
utama maupun *backup* dengan mempertimbangkan kurva saturasi rele yang tertera pada *datasheet*. Setelah itu dilanjutkan dengan menghitung CTI dari rele utama dan *backup*, yaitu selisih waktu operasi dari rele utama dan rele *backup*.

Fungsi objektif yang ditentukan adalah total dari nilai waktu operasi minimum tiap rele saat menjadi rele utama. Intensitas cahaya kunang-kunang mewakili nilai fungsi objektif, semakin kecil nilai total waktu operasi rele saat menjadi rele utama maka intensitas cahaya kunang-kunang akan semakin terang, kunang-kunang yang memiliki intensitas cahaya redup akan tertarik menuju kunang-kunang yang lebih terang. Pergeseran posisi kunang-kunang akan menyebabkan terjadinya pergeseran nilai TDS. Selanjutnya akan dianalisa kembali waktu operasi dan dihitung nilai fungsi objektif (*cost*) yang baru.

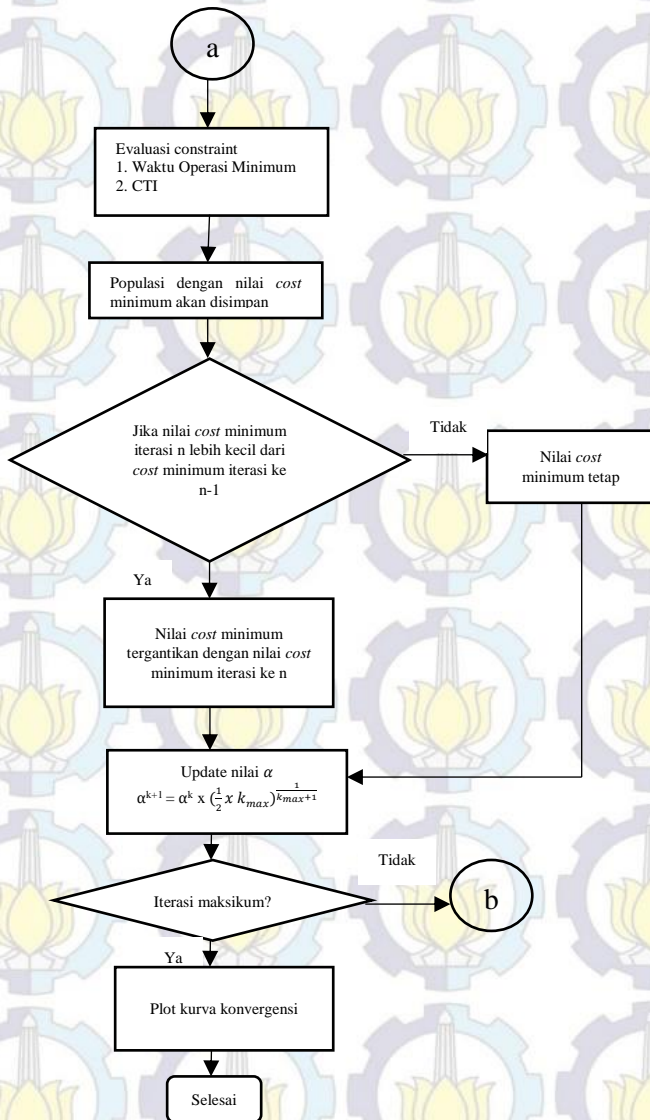
Pada *loop* utama program *firefly*, akan dibandingkan *cost* tiap populasi, populasi dengan *cost*(intensitas cahaya) lebih tinggi akan menuju populasi dengan *cost* lebih rendah. Sehingga nilai TDS(posisi kunang-kunang) populasi dengan *cost* tinggi akan bergeser menuju populasi dengan *cost* lebih rendah. Selanjutnya akan terjadi pembaruan nilai waktu operasi dan CTI dari tiap populasi. Di akhir iterasi akan dipilih populasi dengan *cost* paling minimum di antara populasi yang lain. Nilai ini akan dibandingkan dengan *cost* minimum dari iterasi selanjutnya dan akan diperbarui jika iterasi selanjutnya memiliki *cost* yang lebih rendah.

Pada iterasi terakhir akan didapatkan populasi dengan *cost* paling rendah di antara populasi lainnya. Nilai ini yang akan dipilih sebagai *output* program yaitu nilai yang memiliki TDS minimum.

Di dalam program terdapat beberapa batasan atau *constraint* untuk meningkatkan kemampuan algoritma seperti memperhitungkan nilai waktu operasi minimum rele, dan nilai CTI.




**Gambar 3. 2** Flowchart Algoritma Firefly



**Gambar 3. 2** Flowchart Algoritma Firefly (lanjutan)





*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 4**

### **HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISIS HASIL**

#### **4.1 Penentuan Tipikal Skema Proteksi Pada PT. Pertamina RU V Balikpapan**

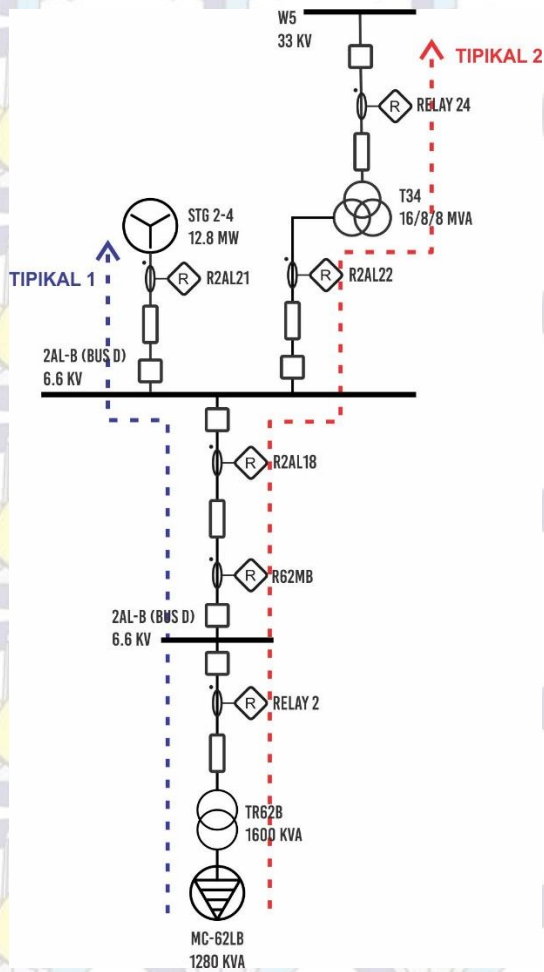
Perhitungan *Time Dial Setting* pada PT. Pertamina RU V Balikpapan dilakukan pada beberapa tipikal yang dipilih berdasarkan beberapa kasus, seperti saluran terpanjang, beban terbesar, dan studi khusus sesuai kebutuhan.

##### **4.1.1 Tipikal 1: *Lumped Load* MC-62LB Menuju Generator STG 2-4**

Skema tipikal 1 merupakan saluran terpanjang dari beban menuju ke generator, saluran terpanjang adalah saluran yang memiliki jumlah rele paling banyak. Tipikal ini memiliki buah 4 rele. Pemilihan saluran ini menjadi sebuah tipikal adalah agar mendapatkan skema proteksi dengan grading time yang tepat. Tipikal ini merupakan koordinasi dari beban lumped load MC-62LB (1280 kVA) - transformator TR62B (1260 kVA) - Bus T62B-P (6.6 kV) - Bus SS62MB (6.6 kV) - 2AL-B (Bus D) (6.6 kV) – generator STG 2-4 (12.8 MW).

##### **4.1.2 Tipikal 2: *Lumped Load* MC-62LB Menuju Ring 33 kV**

Skema tipikal 2 merupakan saluran terpanjang dari beban menuju ring 33 kV, Skema tipikal ini menyerupai tipikal 1. Namun sistem terhubung ke bus 33 kV. Tipikal ini memiliki 5 buah rele. Tipikal ini merupakan koordinasi dari beban lumped load MC-62LB (1280 kVA) - transformator TR62B (1260 kVA) - Bus T62B-P (6.6 kV) - Bus SS62MB (6.6 kV) - 2AL-B (Bus D) (6.6 kV) – T45 (16/8/8)



**Gambar 4. 1** Skema Koordinasi Tipikal 1 dan 2

#### 4.1.3 Tipikal 3: Lumped Load L-SS38A Menuju Generator STG I-6

Skema koordinasi tipikal 3 merupakan koordinasi dari beban lumped load L-SS38A (1829 kVA) – Bus 47 (6.6 kV) – Bus 46 (6.6 kV) – Bus 1HT (6.6 kV) - STG I-6 (9 MW). Tipikal ini memiliki 2 buah rele.



#### 4.1.4 Tipikal 4: Lumped Load L-SS38A Menuju Ring 33 kV

The diagram shows a 6.9 kV bus connected to two external substations:

- TIPIKAL 3 (Green dashed line):** Connected via a 1HT 6.9 KV line to a transformer (circle with a dot) and a circuit breaker (square). The transformer is labeled STG 1-6 9 MW. The circuit breaker is labeled RNP8A.
- TIPIKAL 4 (Orange dashed line):** Connected via a 33 KV line (labeled W4) to a circuit breaker (square), a relay (diamond labeled RELAY 22), a transformer (circle with a dot), a circuit breaker (square), a transformer (circle with a dot labeled T45 16/8/8 MVA), a circuit breaker (square), a relay (diamond labeled RELAY190), a circuit breaker (square), and a transformer (circle with a dot). The transformer is labeled RNP10.

At the bottom, a transformer (circle with a dot) is labeled L-SS38A 1829 KVA.

25

## 4.2 Data Pasangan Rele dan Arus Hubung Singkat

Skema proteksi sistem kelistrikan PT. Pertamina RU V Balikpapan dalam mengamankan sebuah gangguan adalah dengan menggunakan rele utama dan rele *backup*, rele utama adalah rele yang bekerja paling awal ketika terjadi sebuah gangguan, sedangkan rele *backup* berfungsi untuk melokalisir gangguan ketika rele utama gagal. Rele yang berfungsi sebagai *backup* jumlahnya ditentukan berdasarkan kebutuhan. Pada topik tugas akhir ini, yang diamati adalah waktu operasi sebuah rele ketika berfungsi sebagai rele utama dan saat menjadi rele *backup* terhadap rele sebelumnya.

Arus hubung singkat yang tertulis di tabel 4.1 sampai 4.4 adalah arus hubung singkat maksimum  $\frac{1}{2}$  cycle yang dirasakan oleh rele ketika berfungsi menjadi rele utama maupun rele *backup* pada saat terjadi gangguan.

**Tabel 4. 1** Data Rele Tipikal 1

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup	Primer CT
1	Relay 2	6.6	17390	-	150
2	Relay 68	6.6	15310	15020	600
3	R2AL18	6.6	15310	15020	1250
4	R2AL21	6.6	8730	6200	1500

**Tabel 4. 2** Data Rele Tipikal 2

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup	Primer CT
1	Relay 2	6.6	17390	-	150
2	Relay 68	6.6	15310	15020	600
3	R2AL18	6.6	15310	15020	1250
4	R2AL22	6.6	9410	6690	1000



**Tabel 4.2** Data Rele Tipikal 2 (lanjutan)

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup	Primer CT
5	Relay 24	33	3410	1060	500

**Tabel 4. 3** Data Rele Tipikal 3

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup	Primer CT
1	RNP10	6.6	8630	-	400
2	RNP8A	6.6	5450	2580	1200

**Tabel 4. 4** Data Rele Tipikal 4

Nomor	ID Rele	Tegangan (kV)	Isc Max Utama (A)	Isc Max Backup	Primer CT
1	RNP10	6.6	8630	-	400
2	Relay 190	6.6	9530	4500	1000
3	Relay 22	33	3520	1050	500

### 4.3 Perhitungan *Time Dial Setting* (TDS) Secara Manual

Perhitungan TDS secara manual dimaksudkan untuk pembandingan TDS yang dihasilkan oleh program.

#### 4.3.1 Perhitungan TDS Tipikal 1 Manual

##### ✓ Relay 2

*Manufacture* : ALSTOM  
*Tipe* : P 142  
*Tegangan* : 6,6 kV  
*Output* : CB62MB1  
*CT* : 150/5 A



FLA	:	140 A @6,6 kV
Pickup Step	:	0,01
Range TDS	:	0,025 – 1,2
IscMax Utama	:	17390 A @6,6 kV
IscMax Backup	:	-

### Low Set Setting

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{\text{pickup}} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 140 \text{ A} \leq I_{\text{pickup}} \leq 1,4 \times 140 \text{ A}$$

$$147 \text{ A} \leq I_{\text{pickup}} \leq 196 \text{ A}$$

Dipilih Ipickup = 147 A

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$I_{\text{sc Max Utama}} > 30 \times I_{\text{pickup}}$$

$$17390 \text{ A} > 4410 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

Karena syarat saturasi terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan I<sub>sc</sub> maksimum, maka relay 2 akan bekerja pada daerah saturasi.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di TR62B , maka rele 2 akan bekerja sebagai rele utama dengan waktu operasi 0.1 detik

Dipilih  $t_{\text{operation}} = 0,1$  detik

$$\text{TDS} = \frac{\left(\frac{30 \times I_{\text{pickup}}}{I_{\text{pickup}}}\right)^{13,5} - 1}{13,5} \times t_{\text{operation}}$$

$$\text{TDS} = \frac{\left(\frac{30 \times 147}{147}\right)^{13,5} - 1}{13,5} \times 0,1$$

$$\text{TDS} = 2,148 \times 0,1$$

$$\text{TDS} = 0,2148$$

Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih

$$\text{TDS} = 0,225$$

### Waktu Operasi Rele

$$t_{\text{operation}} = \frac{13,5}{\left(\frac{30 \times I_{\text{pickup}}}{I_{\text{pickup}}}\right)^{13,5} - 1} \times \text{TDS}$$

$$t_{\text{operation}} = \frac{13,5}{\left(\frac{30 \times 12,53}{712,53}\right)^{13,5} - 1} \times 0,225$$

$$t_{\text{operation}} = 0,10474 \text{ detik}$$

### ✓ Relay 68

<i>Manufacture</i>	:	ALSTOM
<i>Tipe</i>	:	P 142
<i>Tegangan</i>	:	6,6 kV
<i>Output</i>	:	CB62MB
<i>CT</i>	:	600/1 A
<i>FLA</i>	:	678,6 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	:	0,01
<i>Range TDS</i>	:	0,025 – 1,2
<i>IscMax Utama</i>	:	15310 A @6,6 kV
<i>IscMax Backup</i>	:	15020 A @6,6 kV

### Low Set Setting

$$\begin{aligned}1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{\text{pickup}} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\1,05 \times 678,6 \text{ A} &\leq I_{\text{pickup}} \leq 1,4 \times 678,6 \text{ A} \\712,53 \text{ A} &\leq I_{\text{pickup}} \leq 950,04 \text{ A} \\ \text{Dipilih } I_{\text{pickup}} &= 712,53 \text{ A}\end{aligned}$$

### Saturasi

Saturasi ketika  $I_{\text{scMax Utama}} > 30 \times I_{\text{pickup}}$   
 $15310 \text{ A} > 21420 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)

$I_{\text{scMax Backup}} > 30 \times I_{\text{pickup}}$   
 $15020 \text{ A} > 21420 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)

Karena syarat saturasi tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan  $I_{\text{sc}}$  maksimum, maka relay 2 saat menjadi rele utama dan rele *backup* akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di TR62B , maka rele 68 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan waktu operasi 0,10474 detik + 0,2 detik = 0,30474 detik  
Dipilih  $t_{\text{operation}} = 0,30474$  detik

$$\text{TDS} = \frac{\left(\frac{I_{\text{scMax Backup}}}{I_{\text{pickup}}}\right)^{-1}}{13,5} \times t_{\text{operation}}$$

$$\text{TDS} = \frac{\left(\frac{15020}{712,53}\right)^{-1}}{13,5} \times 0,30474$$



TDS = 0,4533

Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih

TDS = 0,475

### Waktu Operasi Rele

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMax\ Utama}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{15310}{712,53}\right)^{-1}} \times 0,475$$

$$t_{operation_{utama}} = 0,31438 \text{ detik}$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMax\ backup}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{15020}{712,53}\right)^{-1}} \times 0,475$$

$$t_{operation_{backup}} = 0,31935 \text{ detik}$$

jadi rele 68 akan bekerja dalam waktu 0,31438 ketika menjadi rele utama dan 0,31935 ketika menjadi rele *backup*

### ✓ R2AL18

<i>Manufacture</i>	:	ALSTOM
<i>Tipe</i>	:	P 142
<i>Tegangan</i>	:	6,6 kV
<i>Output</i>	:	2AL18
<i>CT</i>	:	1250/5 A
<i>FLA</i>	:	678,6 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	:	0,01
<i>Range TDS</i>	:	0,025 – 1,2
<i>IscMax Utama</i>	:	15310 A @6,6 kV
<i>IscMax Backup</i>	:	15020 A @6,6 kV

### Low Set Setting

$$1,05 \times FLA \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 678,6 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 678,6 \text{ A}$$

$$712,53 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 950,04 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih } I_{pickup} = 712,53 \text{ A}$$

### Saturasi



Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$IscMax \text{ Utama} > 30 \times I_{pickup}$$

$$15310 \text{ A} > 21420 \text{ A} \text{ (syarat tidak terpenuhi)}$$

$$IscMax \text{ Backup} > 30 \times I_{pickup}$$

$$15020 \text{ A} > 21420 \text{ A} \text{ (syarat tidak terpenuhi)}$$

Karena syarat saturasi tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan Isc maksimum, maka R2AL18 saat menjadi rele utama dan rele backup akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)

Karena berada di *feeder* yang sama dengan *relay* 68, maka *setting* R2AL18 dapat disamakan dengan *relay* 68

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di TR62B, maka rele 68 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan waktu operasi 0,10474 detik + 0,2 detik = 0,30474 detik

Dipilih  $t_{operation} = 0,30474$  detik

$$TDS = \frac{\left(\frac{IscMax \text{ backup}}{I_{pickup}}\right)^{-1} - 1}{13,5} \times t_{operation}$$

$$TDS = \frac{\left(\frac{15020}{712,43}\right)^{-1} - 1}{13,5} \times 0,30474$$

$$TDS = 0,46245$$

Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih

$$TDS = 0,475$$

### Waktu Operasi Rele

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{IscMax \text{ Utama}}{I_{pickup}}\right)^{-1} - 1} \times TDS$$

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{15310}{712,53}\right)^{-1} - 1} \times 0,475$$

$$t_{operation_{utama}} = 0,31438 \text{ detik}$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{IscMax \text{ backup}}{I_{pickup}}\right)^{-1} - 1} \times TDS$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{15020}{712,53}\right)^{-1} - 1} \times 0,475$$

$$t_{operation_{backup}} = 0,31935 \text{ detik}$$

jadi R2AL18 akan bekerja dalam waktu 0,31438 ketika menjadi rele utama dan 0,31935 ketika menjadi rele *backup*

✓ **R2AL21**

<i>Manufacture</i>	:	ALSTOM
Tipe	:	P 343
Tegangan	:	6,6 kV
Output	:	2AL21
CT	:	1500/5 A
FLA	:	1400 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	:	0,01
<i>Range TDS</i>	:	0,025 – 1,2
<i>IscMax</i> Utama	:	8730 A @6,6 kV
<i>IscMax Backup</i>	:	6200 A @6,6 kV

**Low Set Setting**

$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{FLA}$   
 $1,05 \times 1400 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 1400 \text{ A}$   
 $1470 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1960 \text{ A}$   
Dipilih  $I_{pickup} = 1470 \text{ A}$

**Saturasi**

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika  
 $I_{scMax} \text{ Utama} > 30 \times I_{pickup}$   
 $8730 \text{ A} > 44100 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)

$I_{scMax} \text{ Backup} > 30 \times I_{pickup}$   
 $6200 \text{ A} > 44100 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)

Karena syarat saturasi tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan *Isc* maksimum, maka R2AL21 saat menjadi rele utama dan rele *backup* akan bekerja pada daerah *inverse*.

**Time Dial Setting (TDS)**

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di SS62MB, maka R2AL21 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan waktu operasi 0,31438 detik + 0,2 detik = 0,51438 detik  
Dipilih  $t_{operation} = 0,51438 \text{ detik}$



$$TDS = \frac{\left(\frac{I_{scMax} \text{ Backuo}}{I_{pickup}}\right)^{-1}}{13,5} \times t \text{ operation}$$

$$TDS = \frac{\left(\frac{6200}{1470}\right)^{-1}}{13,5} \times 0,51348$$

$$TDS = 0,12238$$

Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih

$$TDS = 0,125$$

### Waktu Operasi Rele

$$t \text{ operation}_{utama} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMax} \text{ Utama}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t \text{ operation}_{utama} = \frac{13,5}{\left(\frac{8730}{1470}\right)^{-1}} \times 0,125$$

$$t \text{ operation}_{utama} = 0,34168 \text{ detik}$$

$$t \text{ operation}_{backup} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMax} \text{ backup}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t \text{ operation}_{backup} = \frac{13,5}{\left(\frac{6200}{1470}\right)^{-1}} \times 0,125$$

$$t \text{ operation}_{backup} = 0,52444 \text{ detik}$$

jadi R2AL18 akan bekerja dalam waktu 0,34168 ketika menjadi rele utama dan 0,52444 ketika menjadi rele *backup*

### 4.3.2 Perhitungan TDS Tipikal 2 Manual

#### ✓ Relay 2

Manufacture	:	ALSTOM
Tipe	:	P 142
Tegangan	:	6,6 kV
Output	:	CB62MB1
CT	:	150/5 A
FLA	:	140 A @6,6 kV
Pickup Step	:	0,01
Range TDS	:	0,025 – 1,2
IscMax Utama	:	17390 A @6,6 kV
IscMax Backup	:	-
Setting relay 2 seperti pada tipikal 1		



### ✓ **Relay 68**

<i>Manufacture</i>	:	ALSTOM
<i>Tipe</i>	:	P 142
<i>Tegangan</i>	:	6,6 kV
<i>Output</i>	:	CB62MB
<i>CT</i>	:	600/1 A
<i>FLA</i>	:	678,6 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	:	0,01
<i>Range TDS</i>	:	0,025 – 1,2
<i>IscMax Utama</i>	:	15310 A @6,6 kV
<i>IscMax Backup</i>	:	15020 A @6,6 kV
<i>Setting relay 68 seperti pada tipikal 1</i>		

### ✓ **R2AL18**

<i>Manufacture</i>	:	ALSTOM
<i>Tipe</i>	:	P 142
<i>Tegangan</i>	:	6,6 kV
<i>Output</i>	:	2AL18
<i>CT</i>	:	1250/5 A
<i>FLA</i>	:	678,6 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	:	0,01
<i>Range TDS</i>	:	0,025 – 1,2
<i>IscMax Utama</i>	:	15310 A @6,6 kV
<i>IscMax Backup</i>	:	15020 A @6,6 kV
<i>Setting R2AL18 seperti pada tipikal 1</i>		

### ✓ **R2AL22**

<i>Manufacture</i>	:	ALSTOM
<i>Tipe</i>	:	P 142
<i>Tegangan</i>	:	6,6 kV
<i>Output</i>	:	2AL22
<i>CT</i>	:	1000/1 A
<i>FLA</i>	:	699,8 A @6.6 kV
<i>Pickup Step</i>	:	0,01
<i>Range TDS</i>	:	0,025 – 1,2
<i>IscMax Utama</i>	:	9410 A @6.6 kV
<i>IscMax Backup</i>	:	6690 A @6.6 kV

### **Low Set Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 699,8 \text{ A} &\leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 699,8 \text{ A} \\
 734,79 \text{ A} &\leq I_{pickup} \leq 979,72 \text{ A} \\
 \text{Dipilih } I_{pickup} &= 734,79 \text{ A}
 \end{aligned}$$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika  
 $I_{sc} \text{ Max Utama} > 30 \times I_{pickup}$   
 $9410 \text{ A} > 22200 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)

$I_{sc} \text{ Max Backup} > 30 \times I_{pickup}$   
 $6690 \text{ A} > 22200 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)

Karena syarat saturasi tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan  $I_{sc}$  maksimum, maka R2AL22 akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di SS62MB, maka R2AL22 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan waktu operasi 0,31438 detik + 0,2 detik = 0,51438 detik  
Dipilih  $t_{operation} = 0,51438$  detik

$$\begin{aligned}
 \text{TDS} &= \frac{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Backup}}{I_{pickup}}\right)^{13,5} - 1}{13,5} \times t_{operation} \\
 \text{TDS} &= \frac{\left(\frac{6690}{734,79}\right)^{13,5} - 1}{13,5} \times 0,51438
 \end{aligned}$$

$$\text{TDS} = 0,3088$$

Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih  
 $\text{TDS} = 0,325$

### Waktu Operasi Rele

$$\begin{aligned}
 t_{operation_{utama}} &= \frac{13,5}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max Utama}}{I_{pickup}}\right)^{13,5} - 1} \times \text{TDS} \\
 t_{operation_{utama}} &= \frac{13,5}{\left(\frac{9410}{734,79}\right)^{13,5} - 1} \times 0,325 \\
 t_{operation_{utama}} &= 0,37162 \text{ detik} \\
 t_{operation_{backup}} &= \frac{13,5}{\left(\frac{I_{sc} \text{ Max backup}}{I_{pickup}}\right)^{13,5} - 1} \times \text{TDS}
 \end{aligned}$$



$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{6690}{734,79}\right) - 1} \times 0,325$$

$$t_{operation_{backup}} = 0,54136 \text{ detik}$$

jadi R2AL22 akan bekerja dalam waktu 0,37162 ketika menjadi rele utama dan 0,54136 ketika menjadi rele *backup*

### ✓ Relay 24

<i>Manufacture</i>	:	ALSTOM
<i>Tipe</i>	:	P 343
<i>Tegangan</i>	:	33 kV
<i>Output</i>	:	Q252
<i>CT</i>	:	500/1 A
<i>FLA</i>	:	279,9 A @33 kV
<i>Pickup Step</i>	:	0,01
<i>Range TDS</i>	:	0,025 – 1,2
<i>IscMax Utama</i>	:	3410 A @33 kV
<i>IscMax Backup</i>	:	1060 A @33 kV

### Low Set Setting

$$1,05 \times FLA \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 279,9 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 279,9 \text{ A}$$

$$293,895 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 391,86 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{pickup} = 295 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$I_{sc \text{ Max Utama}} > 30 \times I_{pickup}$$

$$3410 \text{ A} > 8850 \text{ A} \text{ (syarat tidak terpenuhi)}$$

$$I_{sc \text{ Max Backup}} > 30 \times I_{pickup}$$

$$1060 \text{ A} > 8850 \text{ A} \text{ (syarat tidak terpenuhi)}$$

Karena syarat saturasi tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan *Isc* maksimum, maka relay 24 akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)



Ketika terjadi gangguan hubung singkat di 2AL-B (Bus D), maka relay 24 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan waktu operasi 0,37162 detik + 0,2 detik = 0,57162 detik

Dipilih  $t_{operation} = 0,57162$  detik

$$TDS = \frac{\left(\frac{I_{scMax Backup}}{I_{pickup}}\right)^{13,5} - 1}{13,5} \times t_{operation}$$

$$TDS = \frac{\left(\frac{1060}{293,9}\right)^{13,5} - 1}{13,5} \times 0,57162$$

$$TDS = 0,11037$$

Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih

$$TDS = 0,125$$

#### Waktu Operasi Rele

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMax Utama}}{I_{pickup}}\right)^{13,5} - 1} \times TDS$$

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{3410}{293,9}\right)^{13,5} - 1} \times 0,125$$

$$t_{operation_{utama}} = 0,15916 \text{ detik}$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMax backup}}{I_{pickup}}\right)^{13,5} - 1} \times TDS$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{1060}{293,9}\right)^{13,5} - 1} \times 0,125$$

$$t_{operation_{backup}} = 0,6473 \text{ detik}$$

jadi rele 24 akan bekerja dalam waktu 0,15916 ketika menjadi rele utama dan 0,6473 ketika menjadi rele *backup*.

#### 4.3.3 Perhitungan TDS Tipikal 3 Manual

##### ✓ RNP10

Manufacture	:	ALSTOM
Tipe	:	P 142
Tegangan	:	6,6 kV
Output	:	NP10
CT	:	400/5 A
FLA	:	160 A @6,6 kV
Pickup Step	:	0,01
Range TDS	:	0,025 – 1,2

*IscMax* Utama : 8630 A @6,6 kV

*IscMax Backup* : -

### Low Set Setting

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 160 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 160 \text{ A}$$

$$168 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 224 \text{ A}$$

Dipilih  $I_{pickup} = 168 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$I_{sc \text{ Max}} \text{ Utama} > 30 \times I_{pickup}$$

$$8630 \text{ A} > 5040 \text{ A} \quad (\text{syarat terpenuhi})$$

Karena syarat saturasi terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan *Isc* maksimum, maka RNP10 akan bekerja pada daerah saturasi.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di L-SS38A, maka RNP10 akan bekerja sebagai rele utama dengan waktu operasi 0.1 detik

Dipilih  $t_{operation} = 0,1 \text{ detik}$

$$TDS = \frac{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{-1}}{13,5} \times t_{operation}$$

$$TDS = \frac{\left(\frac{30 \times 168}{168}\right)^{-1}}{13,5} \times 0,1$$

$$TDS = 2,148 \times 0,1$$

$$TDS = 0,2148$$

Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih

$$TDS = 0,225$$

### Waktu Operasi Rele

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{30 \times I_{pickup}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{5040}{168}\right)^{-1}} \times 0,225$$

$$t_{operation_{utama}} = 0,1047 \text{ detik}$$

jadi RNP10 akan bekerja dalam waktu 0,1047 ketika menjadi rele utama.



### ✓ RNP8A

<i>Manufacture</i>	:	ALSTOM
<i>Tipe</i>	:	P 343
<i>Tegangan</i>	:	6,6 kV
<i>Output</i>	:	NP8A
<i>CT</i>	:	1200/5 A
<i>FLA</i>	:	984,1 A @6,6 kV
<i>Pickup Step</i>	:	0,01
<i>Range TDS</i>	:	0,025 – 1,2
<i>IscMax Utama</i>	:	5450 A @6,6 kV
<i>IscMax Backup</i>	:	2580 A @6,6 kV

### Low Set Setting

$1,05 \times \text{FLA}$	$\leq I_{pickup} \leq 1,4 \times \text{FLA}$
$1,05 \times 984,1 \text{ A}$	$\leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 984,1 \text{ A}$
$1033,305 \text{ A}$	$\leq I_{pickup} \leq 1377,74 \text{ A}$
Dipilih $I_{pickup} = 1033,305 \text{ A}$	

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$\begin{aligned} I_{sc \text{ Max Utama}} &> 30 \times I_{pickup} \\ 5450 \text{ A} &> 31320 \text{ A} \text{ (syarat tidak terpenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sc \text{ Max Backup}} &> 30 \times I_{pickup} \\ 2580 \text{ A} &> 31320 \text{ A} \text{ (syarat tidak terpenuhi)} \end{aligned}$$

Karena syarat saturasi tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan *Isc* maksimum, maka RNP8A akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di L-SS38A, maka RNP8A akan bekerja sebagai rele *backup* dengan waktu operasi  $0,1047 + 0,2 = 0,3047$  detik

Dipilih  $t_{operation} = 0,3047$  detik

$$\text{TDS} = \frac{\left(\frac{I_{scMax Backup}}{I_{pickup}}\right)^{-1} - 1}{13,5} \times t_{operation}$$

$$\text{TDS} = \frac{\left(\frac{2580}{1033,305}\right)^{-1} - 1}{13,5} \times 0,3047$$

$$\text{TDS} = 0,0337$$



Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0,025, maka dipilih TDS = 0,05

#### Waktu Operasi Rele

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMaxUtama}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{5450}{1033,305}\right)^{-1}} \times 0,05$$

$$t_{operation_{utama}} = 0,1579 \text{ detik}$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMaxBackup}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{2580}{1033,305}\right)^{-1}} \times 0,05$$

$$t_{operation_{backup}} = 0,4509 \text{ detik}$$

jadi RNP8A akan bekerja dalam waktu 0,1579 detik ketika menjadi rele utama dan 0,4509 detik ketika menjadi rele *backup*.

#### 4.3.4 Perhitungan TDS Tipikal 4 Manual

##### ✓ RNP10

Manufacture : ALSTOM  
 Tipe : P 142  
 Tegangan : 6,6 kV  
 Output : NP10  
 CT : 400/5 A  
 FLA : 160 A @6,6 kV  
 Pickup Step : 0,01  
 Range TDS : 0,025 – 1,2  
 IscMax Utama : 8630 A @6,6 kV  
 IscMax Backup : -  
 Setting sama dengan tipikal 3

##### ✓ Relay 190

Manufacture : ALSTOM  
 Tipe : P 142  
 Tegangan : 6,6 kV  
 Output : NP21  
 CT : 1000/1 A  
 FLA : 699,8 A @6,6 kV

*Pickup Step* : 0,01  
*Range TDS* : 0,025 – 1,2  
*IscMax Utama* : 9530 A @6,6 kV  
*IscMax Backup* : 4500 A @6,6 kV

### Low Set Setting

$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{\text{pickup}} \leq 1,4 \times \text{FLA}$   
 $1,05 \times 699,8 \text{ A} \leq I_{\text{pickup}} \leq 1,4 \times 699,8 \text{ A}$   
 $734,79 \text{ A} \leq I_{\text{pickup}} \leq 979,72 \text{ A}$   
 Dipilih  $I_{\text{pickup}} = 734,79 \text{ A}$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika  
 $I_{\text{sc Max Utama}} > 30 \times I_{\text{pickup}}$   
 $9530 \text{ A} > 22200 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)  
  
 $I_{\text{sc Max Backup}} > 30 \times I_{\text{pickup}}$   
 $4500 \text{ A} > 22200 \text{ A}$  (syarat tidak terpenuhi)

Karena syarat saturasi tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan  $I_{\text{sc}}$  maksimum, maka relay 190 akan bekerja pada daerah *inverse*.

### Time Dial Setting (TDS)

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di L-SS38A, maka relay 190 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan waktu operasi  $0,1047 + 0,2 = 0,3047$  detik

Dipilih  $t_{\text{operation}} = 0,3047$  detik

$$\text{TDS} = \frac{\left(\frac{I_{\text{scMax Backup}}}{I_{\text{pickup}}}\right)^{13,5} - 1}{13,5} \times t_{\text{operation}}$$

$$\text{TDS} = \frac{\left(\frac{4500}{734,79}\right)^{13,5} - 1}{13,5} \times 0,3047$$

$$\text{TDS} = 0,11565$$

Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih

$$\text{TDS} = 0,125$$

### Waktu Operasi Rele

$$t_{\text{operation}}_{\text{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{\text{scMaxUtama}}}{I_{\text{pickup}}}\right)^{13,5} - 1} \times \text{TDS}$$



$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{9530}{734,79}\right) - 1} \times 0,125$$

$$t_{operation_{utama}} = 0,141 \text{ detik}$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMaxBackup}}{I_{pickup}}\right) - 1} \times TDS$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{4500}{734,79}\right) - 1} \times 0,125$$

$$t_{operation_{backup}} = 0,3293 \text{ detik}$$

jadi rele 190 akan bekerja dalam waktu 0,141 detik ketika menjadi rele utama dan 0,3293 detik ketika menjadi rele *backup*.

### ✓ Relay 22

<i>Manufacture</i>	:	ALSTOM
Tipe	:	P 142
Tegangan	:	33 kV
<i>Output</i>	:	Q242
CT	:	500/1 A
FLA	:	279,9 A @33 kV
<i>Pickup Step</i>	:	0,01
<i>Range TDS</i>	:	0,025 – 1,2
<i>IscMax Utama</i>	:	3520 A @33 kV
<i>IscMax Backup</i>	:	1050 A @33 kV

### Low Set Setting

$$1,05 \times FLA \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 279,9 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 1,4 \times 279,9 \text{ A}$$

$$293,895 \text{ A} \leq I_{pickup} \leq 391,86 \text{ A}$$

$$\text{Dipilih } I_{pickup} = 293,895 \text{ A}$$

### Saturasi

Arus gangguan akan berada di daerah saturasi ketika

$$I_{sc \text{ Max Utama}} > 30 \times I_{pickup}$$

$$3520 \text{ A} > 8850 \text{ A (syarat tidak terpenuhi)}$$

$$I_{sc \text{ Max Backup}} > 30 \times I_{pickup}$$

$$1050 \text{ A} > 8850 \text{ A (syarat tidak terpenuhi)}$$



Karena syarat saturasi tidak terpenuhi, maka ketika terjadi gangguan *Isc* maksimum, maka relay 22 akan bekerja pada daerah *inverse*.

### **Time Dial Setting (TDS)**

Ketika terjadi gangguan hubung singkat di 1HT, maka relay 22 akan bekerja sebagai rele *backup* dengan waktu operasi  $0,141 + 0,2 = 0,341$  detik

Dipilih  $t_{operation} = 0,341$  detik

$$TDS = \frac{\left(\frac{I_{scMaxBackup}}{I_{pickup}}\right)^{-1}}{13,5} \times t_{operation}$$

$$TDS = \frac{\left(\frac{1050}{293,895}\right)^{-1}}{13,5} \times 0,341$$

$$TDS = 0,06498$$

Karena dari data rele diketahui *step* TDS adalah 0.025, maka dipilih

$$TDS = 0,075$$

### **Waktu Operasi Rele**

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMaxUtama}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{3520}{293,895}\right)^{-1}} \times 0,075$$

$$t_{operation_{utama}} = 0,0922 \text{ detik}$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMaxBackup}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t_{operation_{backup}} = \frac{13,5}{\left(\frac{1050}{293,895}\right)^{-1}} \times 0,075$$

$$t_{operation_{backup}} = 0,3935 \text{ detik}$$

Karena waktu operasi rele 22 ketika menjadi rele utama kurang dari 0,1 detik , maka TDS 0,075 dianggap tidak tepat. Oleh karena itu dipilih TDS satu step di atasnya yaitu 0,1.

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMaxUtama}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS$$

$$t_{operation_{utama}} = \frac{13,5}{\left(\frac{3520}{293,895}\right)^{-1}} \times 0,1$$

$$t_{operation_{utama}} = 0,122 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}
 t_{operation_{backup}} &= \frac{13,5}{\left(\frac{I_{scMaxBackup}}{I_{pickup}}\right)^{-1}} \times TDS \\
 t_{operation_{backup}} &= \frac{13,5}{\left(\frac{1050}{293,895}\right)^{-1}} \times 0,1 \\
 t_{operation_{backup}} &= 0,5247 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

jadi relay 22 akan bekerja dalam waktu 0,122 detik ketika menjadi rele utama dan 0,5247 detik ketika menjadi rele *backup*.

#### 4.3.5 Rangkuman Nilai TDS Minimum Tiap Rele Perhitungan Manual

Nilai TDS minimum dari hasil perhitungan manual terangkum dalam tabel 4.5 sampai 4.8

**Tabel 4. 5** Rangkuman Tipikal 1

No .	ID-Relay	Tegangan (kV)	Ipickup (A)	TDS	Time Operation Utama (detik)	Time Operation Backup (detik)
1	Relay 2	6.6	147	0,225	0,10474	-
2	Relay 68	6.6	712,53	0,475	0,31438	0,31935
3	R2AL18	6.6	712,53	0,475	0,31438	0,31935
4	R2AL21	6.6	1470	0,125	0,34168	0,52444

**Tabel 4. 6** Rangkuman Tipikal 2

No .	ID-Relay	Tegangan (kV)	Ipickup	TDS	Time Operation Utama	Time Operation Backup
1	Relay 2	6.6	147	0,225	0,10474	-
2	Relay 68	6.6	712,53	0,475	0,31438	0,31935
3	R2AL18	6.6	712,53	0,475	0,31438	0,31935
4	R2AL22	6.6	734,79	0,325	0,37162	0,54136
5	Relay 24	33	295	0,125	0,15916	0,6473



**Tabel 4. 7** Rangkuman Tipikal 3

No .	ID-Relay	Tegangan (kV)	Ipickup	TDS	<i>Time Operation</i> Utama	<i>Time Operation</i> Backup
1	RNP10	6.6	168	0,225	0,1047	-
2	RNP8A	6.6	1033,305	0,05	0,1579	0,4509

**Tabel 4. 8** Rangkuman Tipikal 4

No .	ID-Relay	Tegangan (kV)	Ipickup	TDS	<i>Time Operation</i> Utama	<i>Time Operation</i> Backup
1	RNP10	6.6	168	0,225	0,1047	-
2	Relay 190	6.6	734,79	0,125	0,141	0,3293
3	Relay 22	33	293,895	0,1	0,122	0,5247

#### 4.4 Perhitungan *Time Dial Setting* Menggunakan *AMFA*

Perhitungan TDS dilakukan menggunakan software *Matlab2017*, dilakukan pengisian parameter input program meliputi jumlah rele, tegangan rele, kV base, FLA, Arus gangguan maksimum saat rele menjadi rele utama dan *backup*, belitan primer CT, target CTI, waktu target operasi minimum dan maksimum, dan pasangan rele.

Waktu target operasi minimum berfungsi untuk membatasi agar TDS yang terpilih tidak akan menghasilkan waktu operasi rele di bawah 0,1 detik ketika terjadi gangguan, hal ini berfungsi untuk mengantisipasi agar rele tidak beroperasi ketika ada arus *inrush* yang nilainya lebih besar dari *Ipickup* rele namun dalam durasi yang singkat. Sedangkan waktu operasi maksimum digunakan untuk mengantisipasi agar rele tidak ada rele yang beroperasi dengan waktu 0,9 detik ketika terjadi gangguan karena terlalu lama dan dapat merusak peralatan.



#### 4.4.1 Perhitungan TDS Tipikal 1

Untuk dapat menjalankan program dalam menghitung nilai TDS maka diperlukan beberapa parameter yang digunakan sebagai input, seperti yang terlihat pada gambar 4.3

```
masukkan jumlah relay           :3
masukkan tegangan relay         :[6.6 6.6 6.6]
masukkan kv base                 :6.6
masukkan fla                    :[140 678.6 1400]
masukkan isc max primer         :[17390 15310 8730]
masukkan isc max backup         :[inf 15020 6200]
masukkan primer CT              :[150 600 1500]
masukkan Target CTI             :0.2
masukkan waktu target minimum  :0.1
masukkan waktu target maksimum :0.9
masukkan pasangan relay         :[1 2;2 3]
```

**Gambar 4. 3** Parameter *Input* Tipikal 1 ke Program

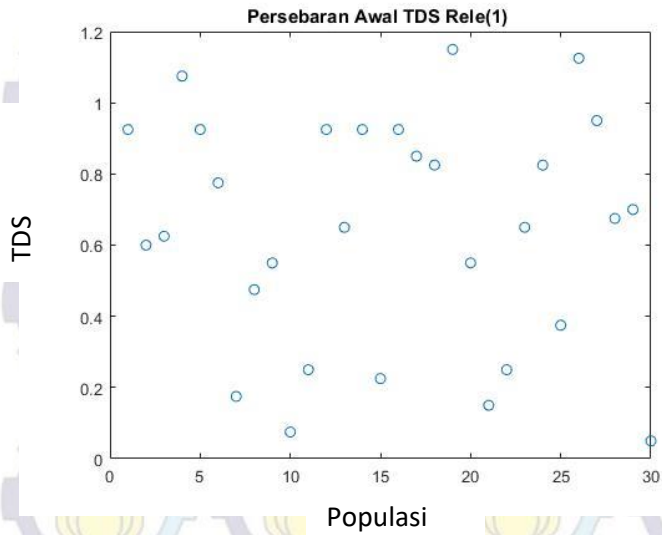
Untuk memudahkan saat perhitungan dalam program, maka tiap rele diberi kode sebagai berikut

**Tabel 4. 9** Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 1

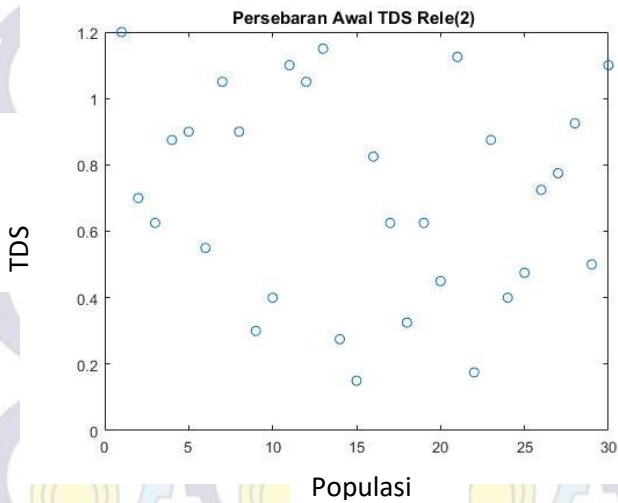
Relay No	ID Rele
1	Relay 2
2	Relay 68
2	R2AL18
3	R2AL21

Karena relay 68 dan R2AL18 berada pada satu saluran yang sama dan akan *disetting* sama, maka cukup diwakilkan oleh satu rele pada program.

Selanjutnya akan dibangkitkan populasi awal nilai TDS secara acak sebanyak jumlah populasi yaitu 30 dan dengan nilai antara 0.025 – 1.2 sesuai dengan spesifikasi rele, seperti yang terlihat pada gambar 4.4 sampai 4.6.

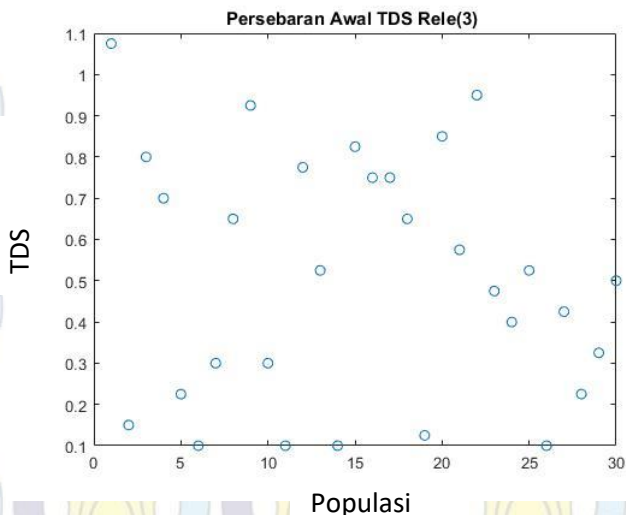


**Gambar 4. 4** Persebaran Awal TDS Rele 1 Tipikal 1



**Gambar 4. 5** Persebaran Awal TDS Rele 2 Tipikal 1





**Gambar 4. 6** Persebaran Awal TDS Rele 3 Tipikal 1

Dari persebaran partikel di gambar 4.4 sampai 4.6 terlihat bahwa TDS dibangkitkan dengan nilai acak dan berada dalam *range* TDS rele, nilai TDS dari tiap rele dapat dirangkum di tabel 4.10

**Tabel 4. 10** Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 1

Populasi	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3
1	0,925	1,2	1,075
2	0,6	0,7	0,15
3	0,625	0,625	0,8
4	1,075	0,875	0,7
5	0,925	0,9	0,225
6	0,775	0,55	0,1
7	0,175	1,05	0,3
8	0,475	0,9	0,65
9	0,55	0,3	0,925
10	0,075	0,4	0,3
11	0,25	1,1	0,1
12	0,925	1,05	0,775
13	0,65	1,15	0,525

**Tabel 4. 10** Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 1 (lanutan)

Populasi	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3
14	0,925	0,275	0,1
15	0,225	0,15	0,825
16	0,925	0,825	0,75
17	0,85	0,625	0,75
18	0,825	0,325	0,65
19	1,15	0,625	0,125
20	0,55	0,45	0,85
21	0,15	1,125	0,575
22	0,25	0,175	0,95
23	0,65	0,875	0,475
24	0,825	0,4	0,4
25	0,375	0,475	0,525
26	1,125	0,725	0,1
27	0,95	0,775	0,425
28	0,675	0,925	0,225
29	0,7	0,5	0,325
30	0,05	1,1	0,5

Dari data TDS tabel 4.10 dapat dihitung nilai waktu operasi rele ketika menjadi rele utama maupun *backup* sesuai dengan persamaan kurva *very inverse*. Selanjutnya dapat dihitung *cost* tiap populasi, yaitu penjumlahan waktu operasi utama tiap rele.

**Tabel 4. 11** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 1

Populasi	<i>Cost</i>
1	4,160
2	1,151
3	2,890
4	2,991
5	1,639
6	0,997
7	1,593
8	2,591
9	2,982
10	1,119
11	1,115



**Tabel 4. 11** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 1 (lanjutan)

Populasi	<i>Cost</i>
12	3,241
13	2,496
14	0,886
15	2,459
16	3,025
17	2,858
18	2,375
19	1,289
20	2,876
21	2,383
22	2,829
23	2,178
24	1,741
25	1,923
26	1,275
27	2,115
28	1,539
29	1,544
30	2,115

Selanjutnya pada *loop* utama algoritma *firefly*, di setiap iterasi akan dibandingkan *cost* tiap populasi, populasi yang memiliki *cost* (intensitas cahaya) tinggi akan bergerak menuju populasi dengan nilai *cost* lebih rendah, sehingga nilai TDS populasi dengan *cost* tinggi akan bergeser menuju TDS dengan *cost* rendah. *Cost* akan diperbarui pula di tiap iterasi.

Populasi dengan nilai *cost* paling minimum pada tiap iterasi akan terpilih menjadi target TDS minimum, nilai ini akan dibandingkan di tiap iterasi dan akan tergantikan oleh TDS yang memiliki *cost* lebih rendah.

**Tabel 4. 12** Nilai *Cost* Minimum Tiap Iterasi Tipikal 1

Iterasi	<i>Cost</i>	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3
1	1,107993	0,25	0,675	0,2
2	0,96211	0,225	0,575	0,175
3	0,907425	0,325	0,525	0,15
4	0,827877	0,225	0,475	0,15
5	0,75954	0,225	0,475	0,125

**Tabel 4. 12** Nilai *Cost* Minimum Tiap Iterasi Tipikal 1 (lanjutan)

Iterasi	Cost	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3
50	0,75954	0,225	0,475	0,125

Pada akhir iterasi akan dipilih satu populasi dengan nilai *cost* paling rendah diantara yang lain. Populasi inilah yang terpilih sebagai TDS minimum atau *objective function* algoritma *firefly*.

Pada tabel 4.12, terlihat nilai *cost* minimum pada iterasi ke 1 adalah 1,07993 dan akan terus diperbarui sampai pada iterasi ke 50, dengan begitu TDS yang terpilih adalah TDS pada iterasi ke 50 yaitu 0,225 untuk rele 1 , 0,475 untuk rele 2 , dan 0,125 untuk rele ke 3

Program akan memberikan hasil berupa beberapa parameter yang digunakan untuk setting relay 51, meliputi *Ipickup* dan TDS.

Relay No.	pickup	Ipickup
1	0.98	147.00
2	1.19	714.00
3	0.98	1470.00

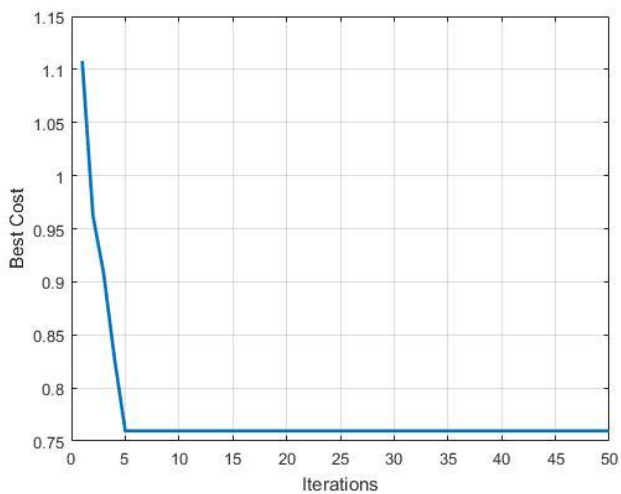
TIME DIAL

Relay No.	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER
1	0.2250	0.1049	0.0000
2	0.4750	0.3130	0.3194
3	0.1250	0.3417	0.5244

**Gambar 4. 7** Parameter *Output* Tipikal 1 dari Program

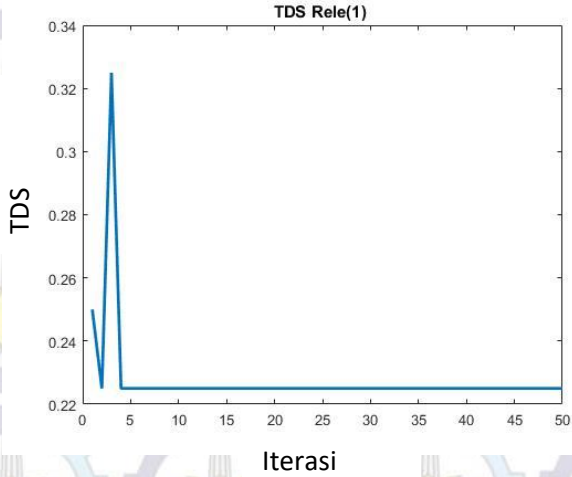
Pada gambar 4.8 akan terlihat nilai fungsi objektif (jumlah waktu operasi rele utama) dari tiap iterasi hingga mencapai suatu nilai konvergen pada sebuah nilai iterasi tertentu. Fungsi objektif konvergen di iterasi ke 5.



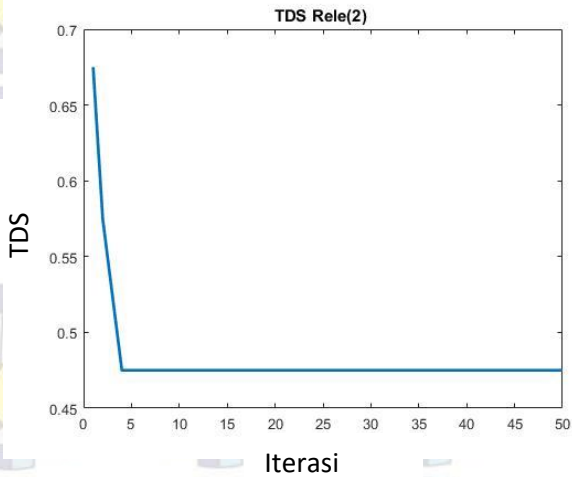


**Gambar 4. 8** Kurva Konvergensi Fungsi Objektif Tipikal 1

Selanjutnya diplot nilai TDS tiap rele untuk setiap iterasi dengan tujuan mengetahui pergerakan TDS dari masing-masing rele.

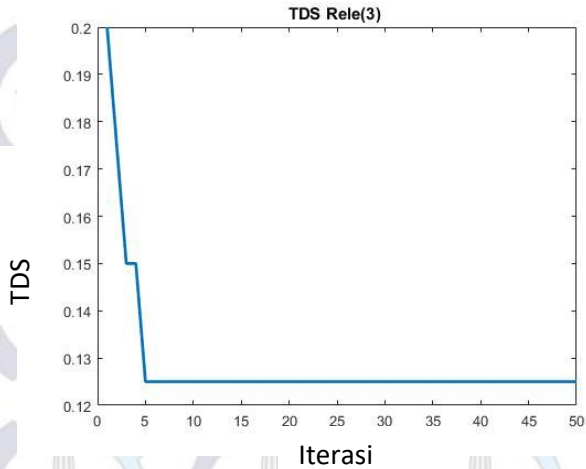


**Gambar 4. 9** Pergerakan TDS Rele 1 di Tiap Iterasi Tipikal 1



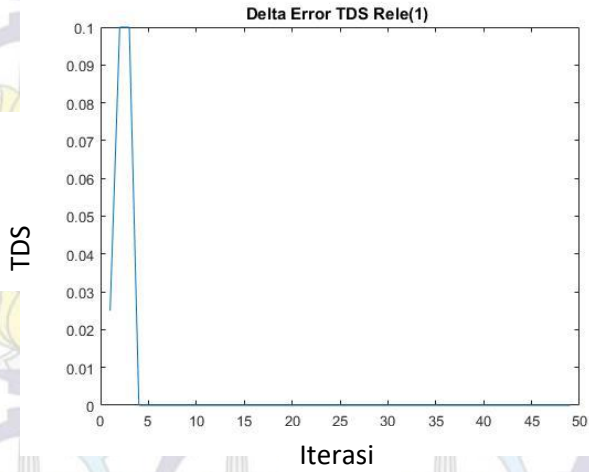
**Gambar 4. 10** Pergerakan TDS Rele 2 di Tiap Iterasi Tipikal 1



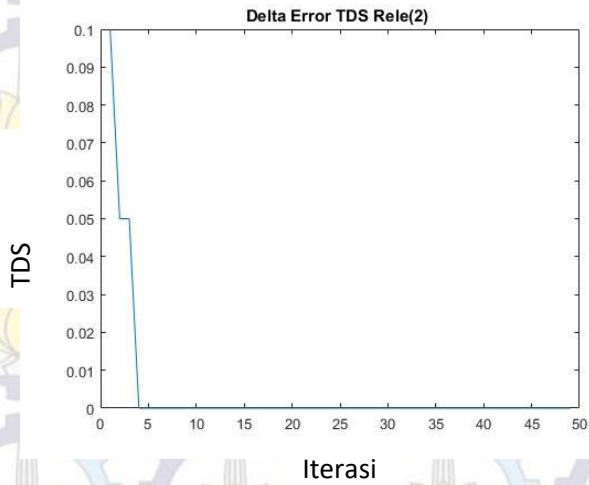


**Gambar 4. 11** Pergerakan TDS Rele 3 di Tiap Iterasi Tipikal 1

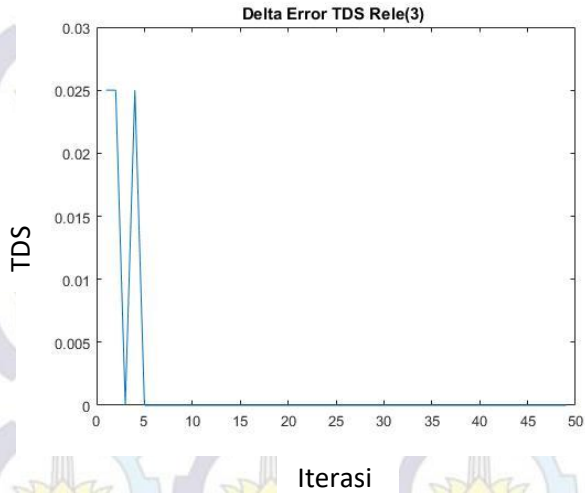
Selanjutnya diplot *delta error* dari tiap iterasi, *delta error* yaitu selisih dari nilai TDS ketika iterasi ke n dikurangi dengan iterasi ke n-1. Jika sudah mencapai nilai konvergen maka nilai *delta error* sama dengan 0.



**Gambar 4. 12** Delta Error TDS Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 1



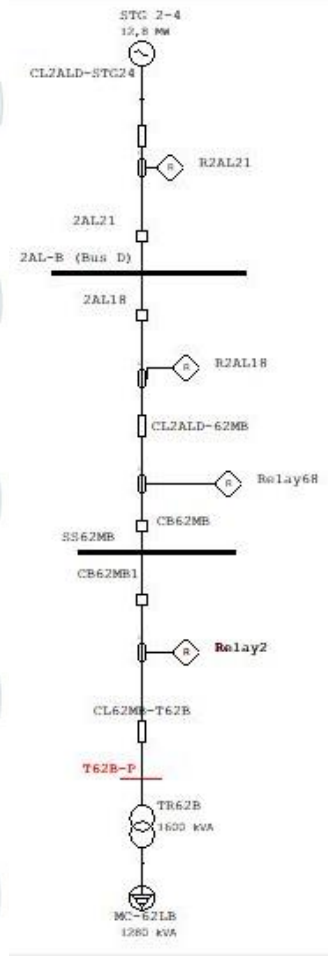
**Gambar 4. 13** Delta Error TDS Tiap Iterasi Rele 2 Tipikal 1



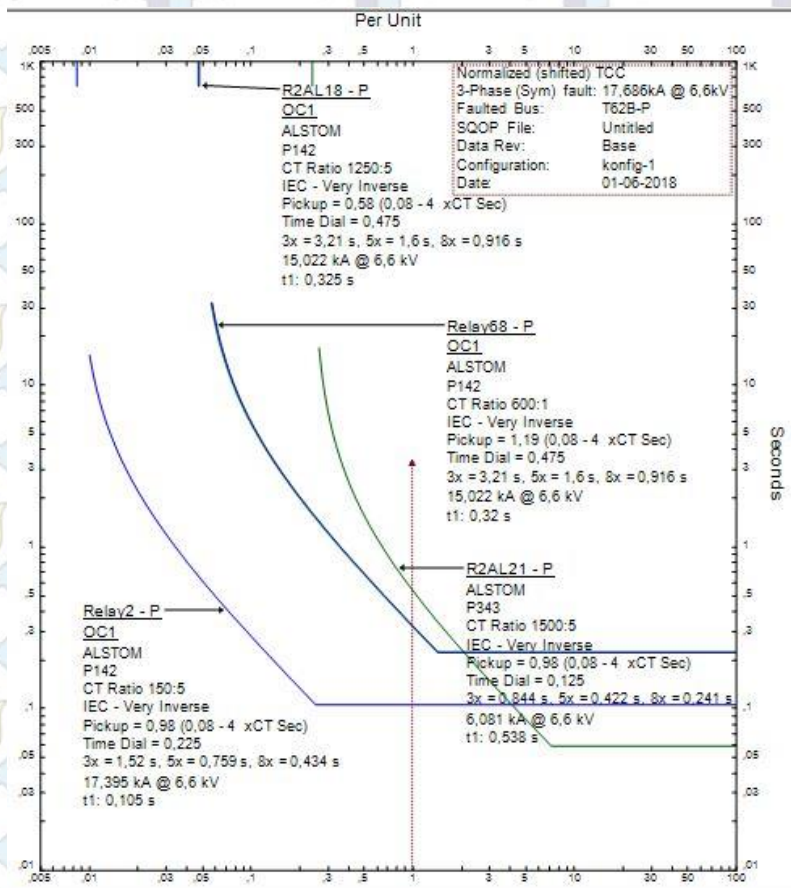
**Gambar 4.14** Delta Error TDS Tiap Iterasi Rele 3 Tipikal 1

Selanjutnya akan dilakukan plot hasil TDS Tipikal 1 yang didapatkan dari program Menggunakan Software ETAP 12.6. Akan diamati waktu operasi rele utama dan *backup* ketika terjadi gangguan di beberapa titik.



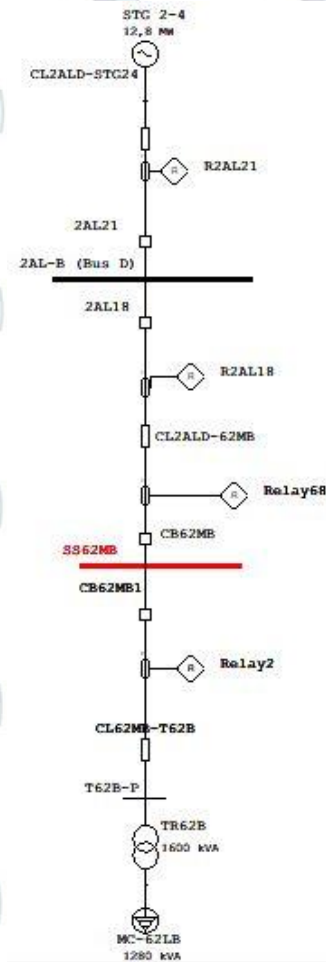


**Gambar 4. 15** Koordinasi Proteksi Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus T62B-P



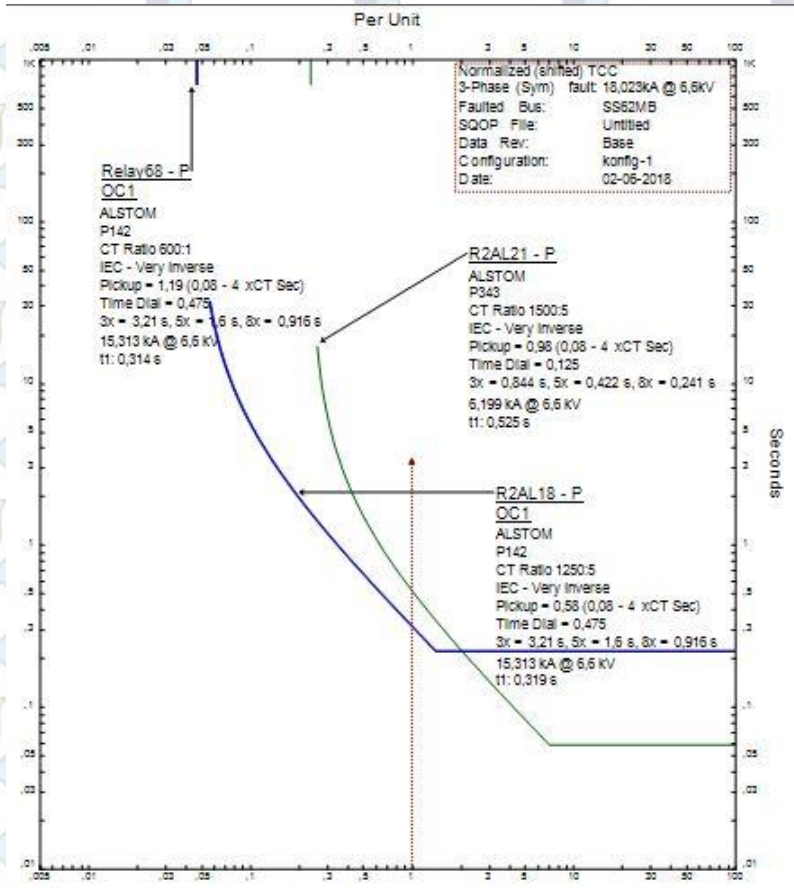
**Gambar 4. 16** Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus T62B-P

Dari gambar 4.16 terlihat bahwa waktu operasi rele 2 adalah 0,105 detik, sedangkan rele 68 adalah 0,32 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,215 detik. Sesuai standar *IEEE 242* koordinasi ini dapat dikatakan aman.



**Gambar 4. 17** Koordinasi Proteksi Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus SS62MB

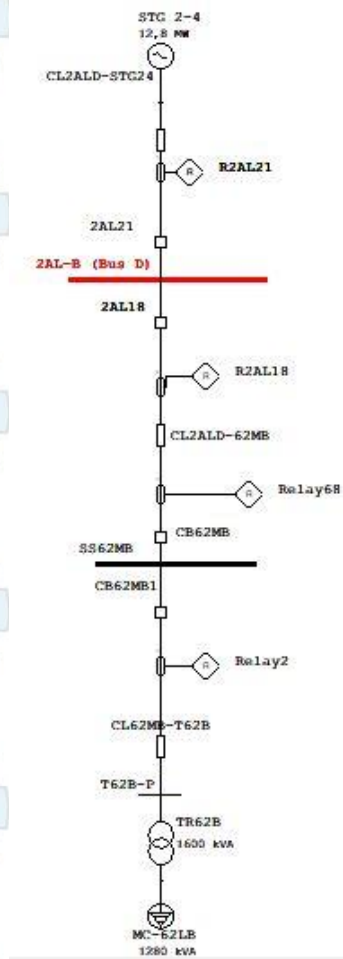




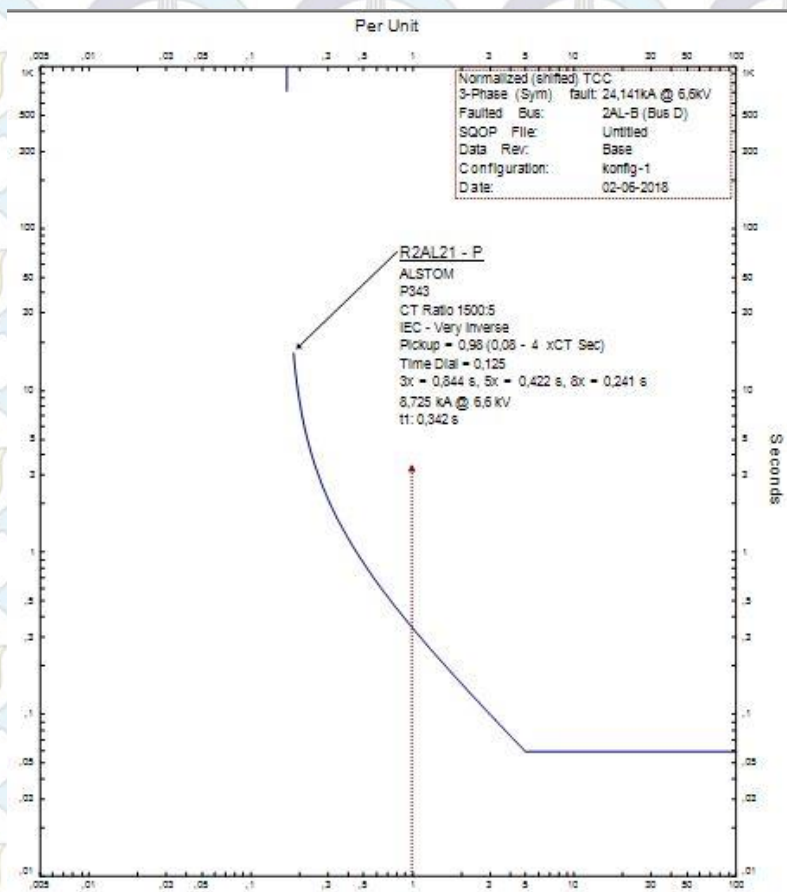
**Gambar 4. 18** Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus SS62MB

Dari gambar 4.18 terlihat bahwa waktu operasi rele 68 adalah 0,314 detik, sedangkan rele 68 adalah R2AL18 0,319 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,005detik. Koordinasi tersebut aman. Karena kedua rele tersebut memiliki nilai *setting* yang sama maka keduanya akan trip secara bersamaan sehingga CTI yang ideal adalah 0 detik, namun karena ada error karena nilai CT yang berbeda dari kedua rele yang berdampak pada perbedaan nilai *pickup*, maka akan terdapat error CTI.

Selain itu, dapat dilihat waktu operasi R2AL18 adalah 0,319 detik, sedangkan R2AL21 adalah 0,525 detik, sehingga CTI sebesar 0,226 detik, Sesuai standar *IEEE 242* koordinasi ini dapat dikatakan aman.



**Gambar 4. 19** Koordinasi Proteksi Tipikal 1 ketika Gangguan di 2AL-B(BusD)



**Gambar 4. 20** Plot ETAP Tipikal 1 ketika Gangguan di 2AL-B(BusD)

Dari gambar 4.20 terlihat bahwa waktu operasi R2AL21 adalah 0,342 detik.



Dari plot kurva TCC pada gambar 4.17 sampai 4.20, terlihat bahwa CTI dari tiap rele utama dan *backup* lebih besar dari 0,2 detik, dapat disimpulkan bahwa tiap rele sudah terkoordinasi dengan baik.

Waktu operasi tiap rele terhadap arus gangguan dapat dirangkum pada tabel 4.13.

**Tabel 4. 13** Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 1

No.	ID-Relay	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Konvergen pada Iterasi
1	Relay 2	0,225	0,1049	-	4
2	Relay 68	0,475	0,3130	0,3194	5
3	R2AL18	0,475	0,3130	0,3194	5
4	R2AL21	0,125	0,3417	0,5244	5

#### 4.4.2 Perhitungan TDS Tipikal 2

Untuk dapat menjalankan program dalam menghitung nilai TDS maka diperlukan beberapa parameter yang digunakan sebagai input, seperti yang terlihat pada gambar 4.12

```

masukkan jumlah relay           :4
masukkan tegangan relay         :[6.6 6.6 6.6 33]
masukkan kv base                 :6.6
masukkan fla                     :[140 678.6 699.8 279.9]
masukkan isc max primer          :[17390 15310 9410 3410]
masukkan isc max backup          :[inf 15020 6690 1060]
masukkan primer CT               :[150 600 1000 500]
masukkan Target CTI              :0.2
masukkan waktu target minimum    :0.1
masukkan waktu target maksimum   :0.9
masukkan pasangan relay          :[1 2;2 3;3 4]

```

**Gambar 4. 21** Parameter *Input* Tipikal 2 ke Program

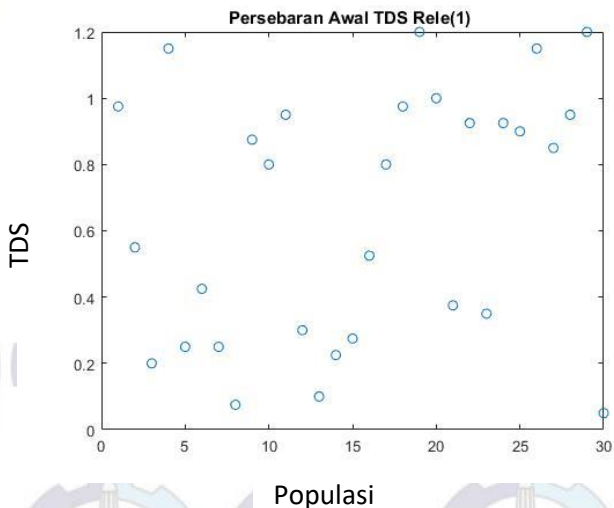
Untuk memudahkan saat perhitungan dalam program, maka tiap rele diberi kode sebagai berikut

**Tabel 4. 14** Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 2

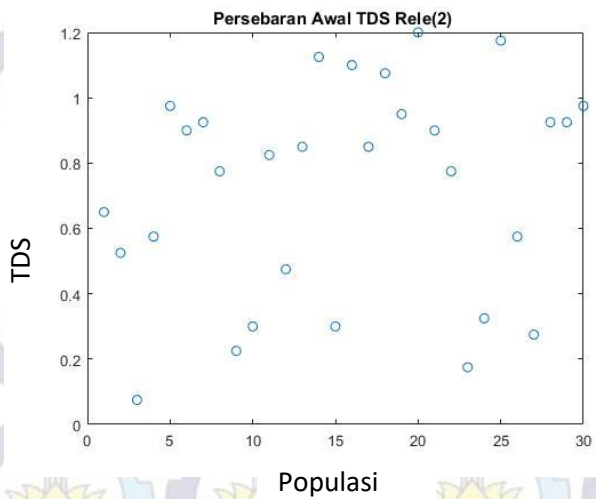
Relay No	ID Rele
1	Relay 2
2	Relay 68
2	R2AL18
3	R2AL22
4	Relay 24

Karena relay 68 dan R2AL18 berada pada satu saluran yang sama dan akan *disetting* sama, maka cukup diwakilkan oleh satu rele pada program.

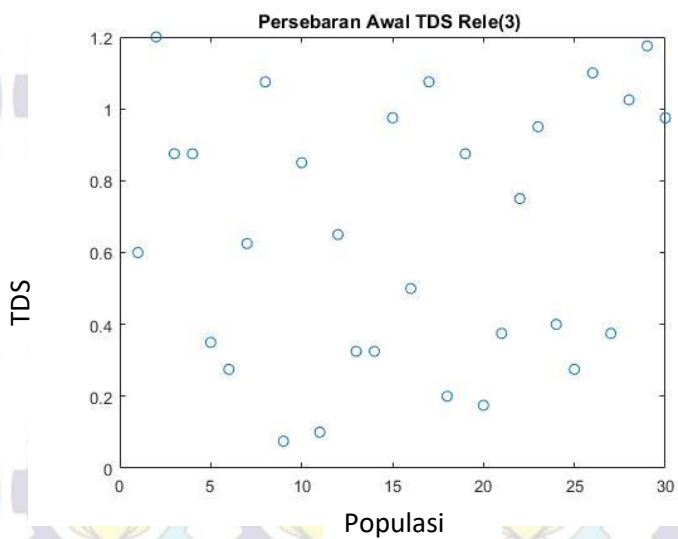
Selanjutnya akan dibangkitkan populasi awal nilai TDS secara acak sebanyak jumlah populasi yaitu 30 dan dengan nilai antara 0.025 – 1.2 sesuai dengan spesifikasi rele, seperti yang terlihat pada gambar 4.22 sampai 4.25.



**Gambar 4. 22** Persebaran Awal TDS Rele 1 Tipikal 2

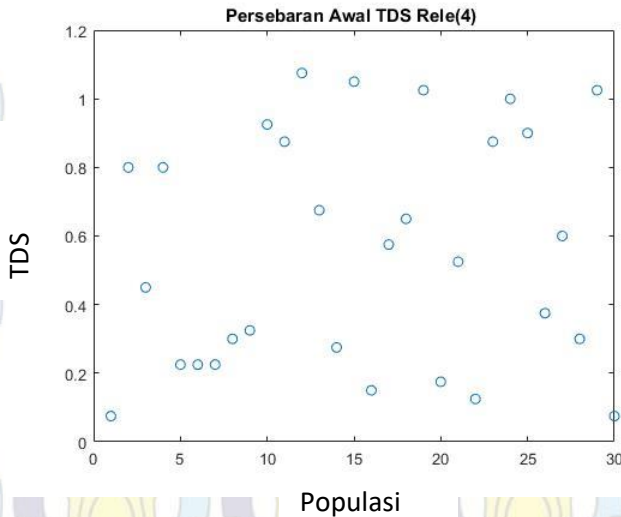


**Gambar 4. 23** Persebaran Awal TDS Rele 2 Tipikal 2



**Gambar 4. 24** Persebaran Awal TDS Rele 3 Tipikal 2





**Gambar 4. 25** Persebaran Awal TDS Rele 4 Tipikal 2

Dari persebaran partikel di gambar 4.22 sampai 4.25 terlihat bahwa TDS dibangkitkan dengan nilai acak dan berada dalam *range* TDS rele, nilai TDS dari tiap rele dapat dirangkum di tabel 4.15

**Tabel 4. 15** Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 2

Populasi	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3	TDS Rele 4
1	0,975	0,65	0,6	0,075
2	0,55	0,525	1,2	0,8
3	0,2	0,075	0,875	0,45
4	1,15	0,575	0,875	0,8
5	0,25	0,975	0,35	0,225
6	0,425	0,9	0,275	0,225
7	0,25	0,925	0,625	0,225
8	0,075	0,775	1,075	0,3
9	0,875	0,225	0,075	0,325
10	0,8	0,3	0,85	0,925
11	0,95	0,825	0,1	0,875
12	0,3	0,475	0,65	1,075

**Tabel 4. 15** Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 2 (lanjutan)

Populasi	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3	TDS Rele 4
13	0,1	0,85	0,325	0,675
14	0,225	1,125	0,325	0,275
15	0,275	0,3	0,975	1,05
16	0,525	1,1	0,5	0,15
17	0,8	0,85	1,075	0,575
18	0,975	1,075	0,2	0,65
19	1,2	0,95	0,875	1,025
20	1	1,2	0,175	0,175
21	0,375	0,9	0,375	0,525
22	0,925	0,775	0,75	0,125
23	0,35	0,175	0,95	0,875
24	0,925	0,925	0,4	1
25	0,9	1,175	0,275	0,9
26	1,15	0,575	1,1	0,375
27	0,85	0,275	0,375	0,6
28	0,95	0,925	1,025	0,3
29	1,2	0,925	1,175	1,025
30	0,05	0,975	0,975	0,075

Dari data TDS tabel 4.15 dapat dihitung nilai waktu operasi rele ketika menjadi rele utama maupun *backup* sesuai dengan persamaan kurva *very inverse*. Selanjutnya dapat dihitung *cost* tiap populasi, yaitu penjumlahan waktu operasi utama tiap rele.

**Tabel 4. 16** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 2

Populasi	<i>Cost</i>
1	1,6642
2	2,9930
3	1,7161
4	2,9339
5	1,4457
6	1,3920
7	1,7272
8	2,1568

**Tabel 4. 16** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 2 (lanjutan)

Populasi	<i>Cost</i>
9	1,0556
10	2,7202
11	2,2148
12	2,5648
13	1,8378
14	1,5679
15	2,7776
16	1,7322
17	2,8942
18	2,2190
19	3,4908
20	1,6797
21	1,8651
22	1,9585
23	2,4788
24	2,3758
25	2,6541
26	2,6501
27	1,7701
28	2,6062
29	3,8174
30	1,8761

Selanjutnya pada *loop* utama algoritma *firefly*, di setiap iterasi akan dibandingkan *cost* tiap populasi, populasi yang memiliki *cost* (intensitas cahaya) tinggi akan bergerak menuju populasi dengan nilai *cost* lebih rendah, sehingga nilai TDS populasi dengan *cost* tinggi akan bergeser menuju TDS dengan *cost* rendah. *Cost* akan diperbarui pula di tiap iterasi.

Populasi dengan nilai *cost* paling minimum pada tiap iterasi akan terpilih menjadi target TDS minimum, nilai ini akan dibandingkan di tiap iterasi dan akan tergantikan oleh TDS yang memiliki *cost* lebih rendah.



**Tabel 4. 17** Nilai *Cost* Minimum Tiap Iterasi Tipikal 2

Iterasi	<i>Cost</i>	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3	TDS Rele 4
1	1,6488	0,45	0,775	0,45	0,325
2	1,4763	0,4	0,8	0,5	0,15
3	1,4112	0,225	0,825	0,5	0,15
4	1,0541	0,225	0,5	0,375	0,15
5	1,0372	0,25	0,5	0,35	0,15
.	.	.	.	.	.
50	0,9486	0,225	0,475	0,325	0,125

Pada akhir iterasi akan dipilih satu populasi dengan nilai *cost* paling rendah diantara yang lain. Populasi inilah yang terpilih sebagai TDS minimum atau *objective function* algoritma *firefly*.

Pada tabel 4.17, terlihat nilai *cost* minimum pada iterasi ke 1 adalah 1,16488 dan akan terus diperbarui sampai pada iterasi ke 50, dengan begitu TDS yang terpilih adalah TDS pada iterasi ke 50 yaitu 0,225 untuk rele 1 , 0,475 untuk rele 2 , 0,325 untuk rele ke 3, dan 0,125 untuk rele ke 4

Program akan memberikan hasil berupa beberapa parameter yang digunakan untuk setting relay 51, meliputi *Ipickup* dan TDS.

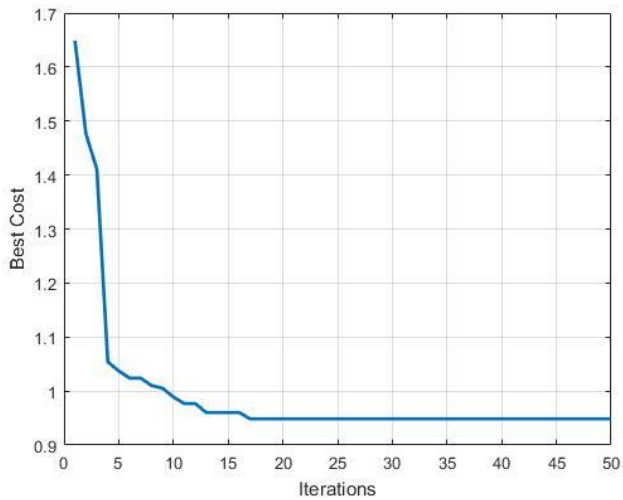
Relay No.	<i>pickup</i>	<i>Ipickup</i>
1	0.98	147.00
2	1.19	714.00
3	0.74	740.00
4	0.59	294.00

TIME DIAL

Relay No.	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER
1	0.2250	0.1049	0.0000
2	0.4750	0.3130	0.3194
3	0.3250	0.3716	0.5414
4	0.1250	0.1592	0.6474

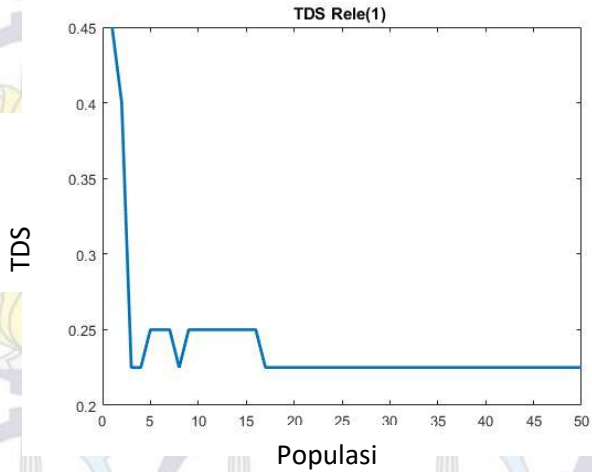
**Gambar 4. 26** Parameter *Output* Tipikal 2 dari Program

Pada gambar 4.27 akan terlihat nilai fungsi objektif (jumlah waktu operasi rele utama) dari tiap iterasi hingga mencapai suatu nilai konvergen pada sebuah nilai iterasi tertentu. Fungsi objektif konvergen di iterasi ke 17.

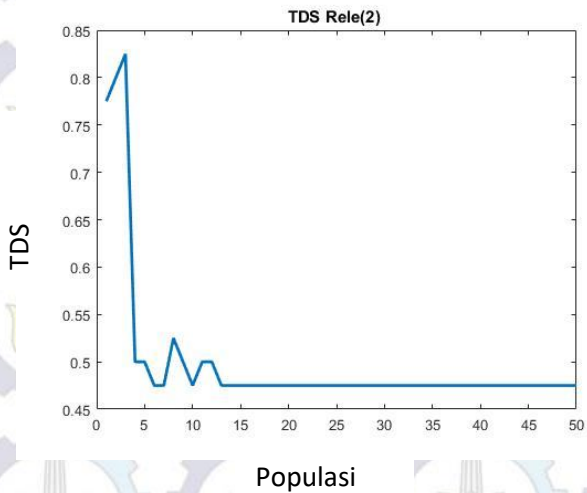


**Gambar 4. 27** Kurva Konvergensi Fungsi Objektif Tipikal 2

Selanjutnya diplot nilai TDS tiap rele untuk setiap iterasi dengan tujuan mengetahui pergerakan TDS dari masing-masing rele.

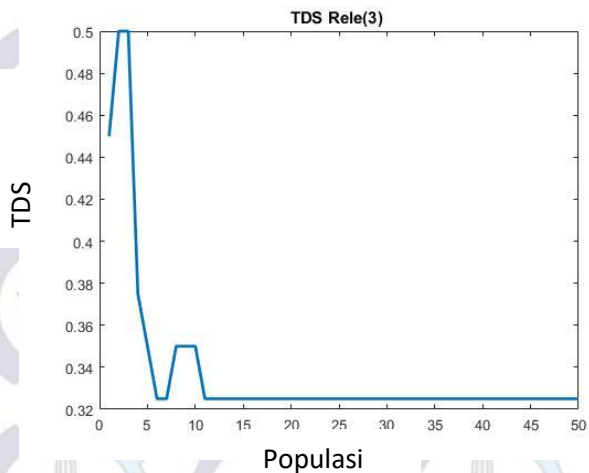


**Gambar 4. 28** Pergerakan TDS Rele 1 di Tiap Iterasi Tipikal 2

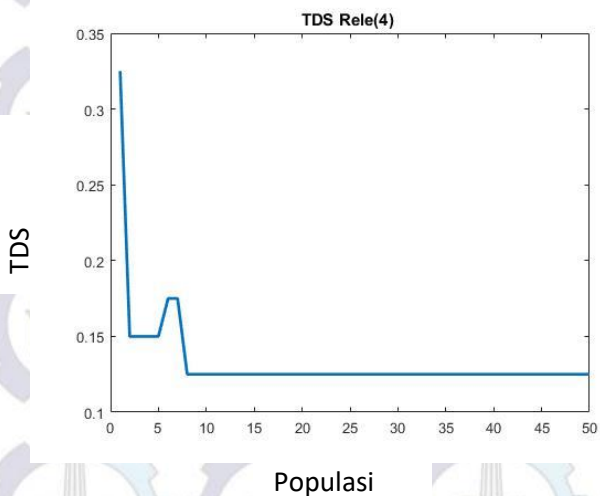


**Gambar 4. 29** Pergerakan TDS Rele 2 di Tiap Iterasi Tipikal 2



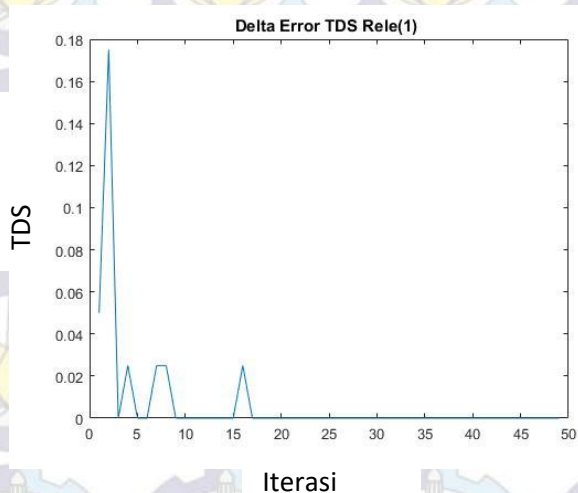


**Gambar 4.30** Pergerakan TDS Rele 3 di Tiap Iterasi Tipikal 2

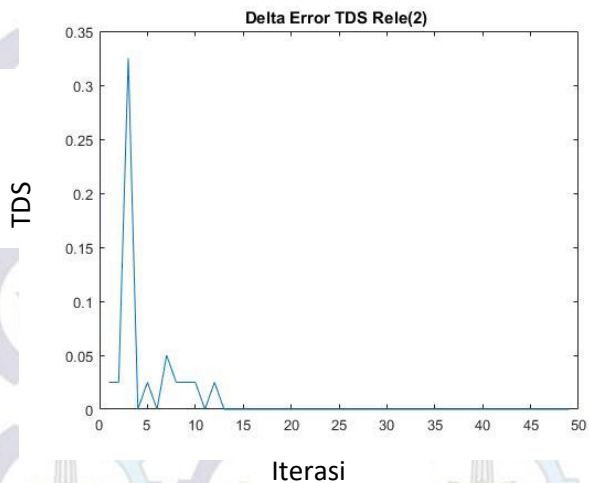


**Gambar 4.31** Pergerakan TDS Rele 4 di Tiap Iterasi Tipikal 2

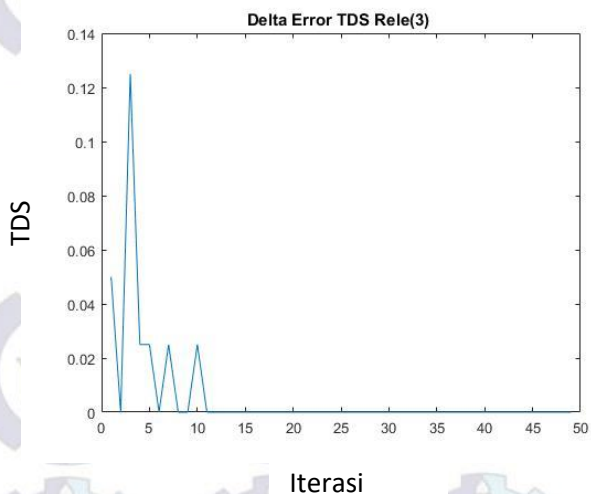
Selanjutnya diplot *delta error* dari tiap iterasi, *delta error* yaitu selisih dari nilai TDS ketika iterasi ke  $n$  dikurangi dengan iterasi ke  $n-1$ . Jika sudah mencapai nilai konvergen maka nilai *delta error* sama dengan 0.



**Gambar 4.32** *Delta Error TDS* Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 2

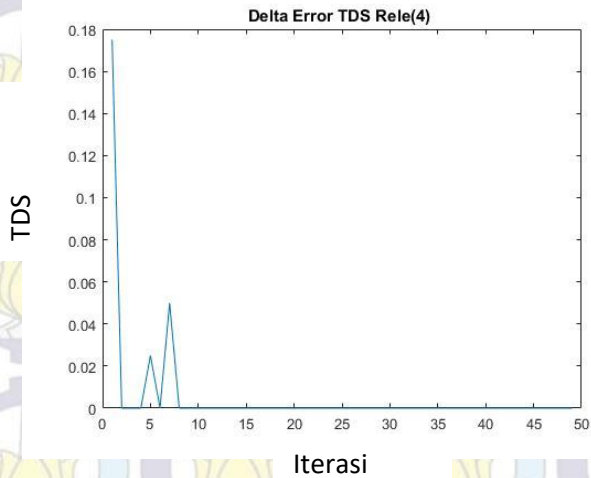


**Gambar 4. 33** *Delta Error TDS* Tiap Iterasi Rele 2 Tipikal 2



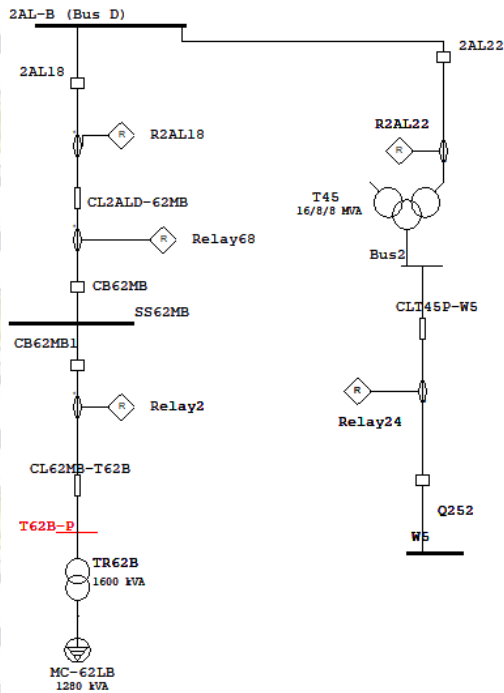
**Gambar 4. 34** *Delta Error TDS* Tiap Iterasi Rele 3 Tipikal 2



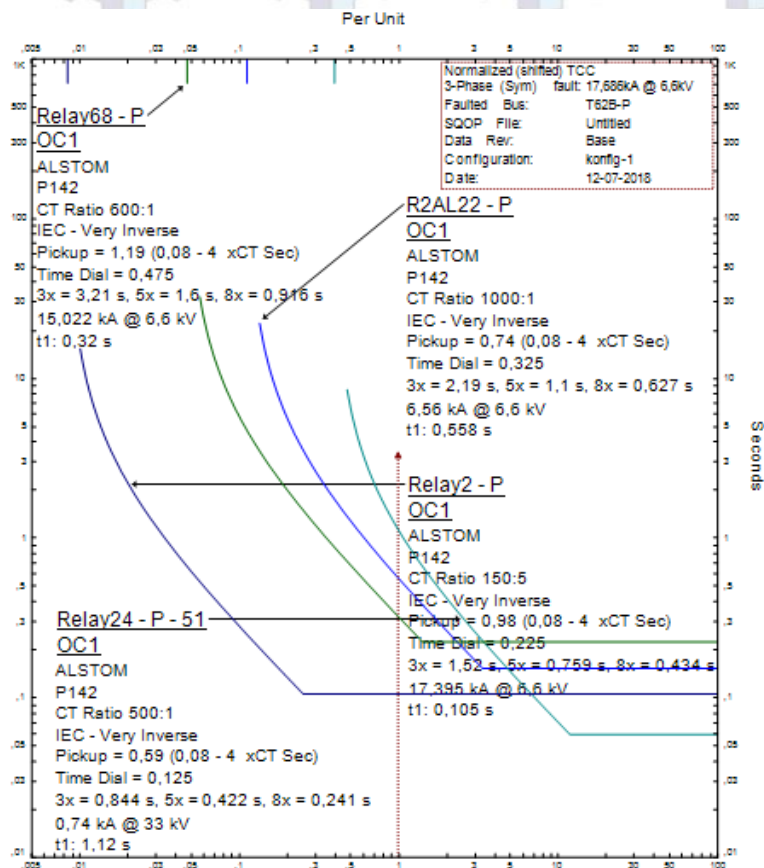


**Gambar 4. 35** *Delta Error TDS* Tiap Iterasi Rele 4 Tipikal 2

Selanjutnya akan dilakukan plot hasil TDS Tipikal 2 yang didapatkan dari program Menggunakan Software ETAP 12.6. Akan diamati waktu operasi rele utama dan *backup* ketika terjadi gangguan di beberapa titik.



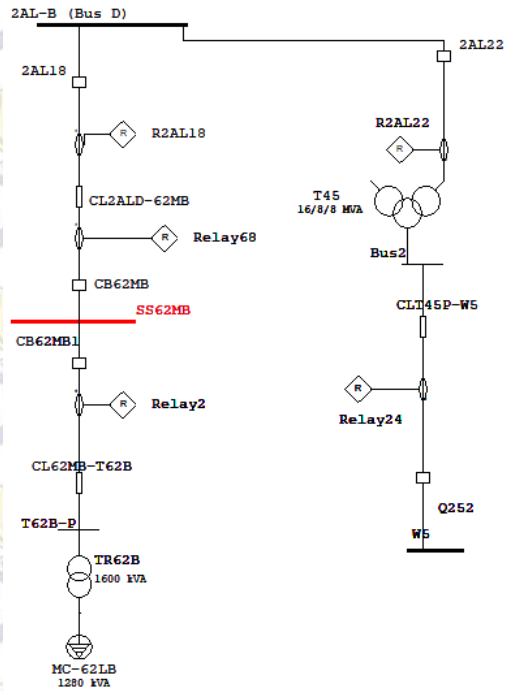
**Gambar 4. 36** Koordinasi Proteksi Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus T62B-P



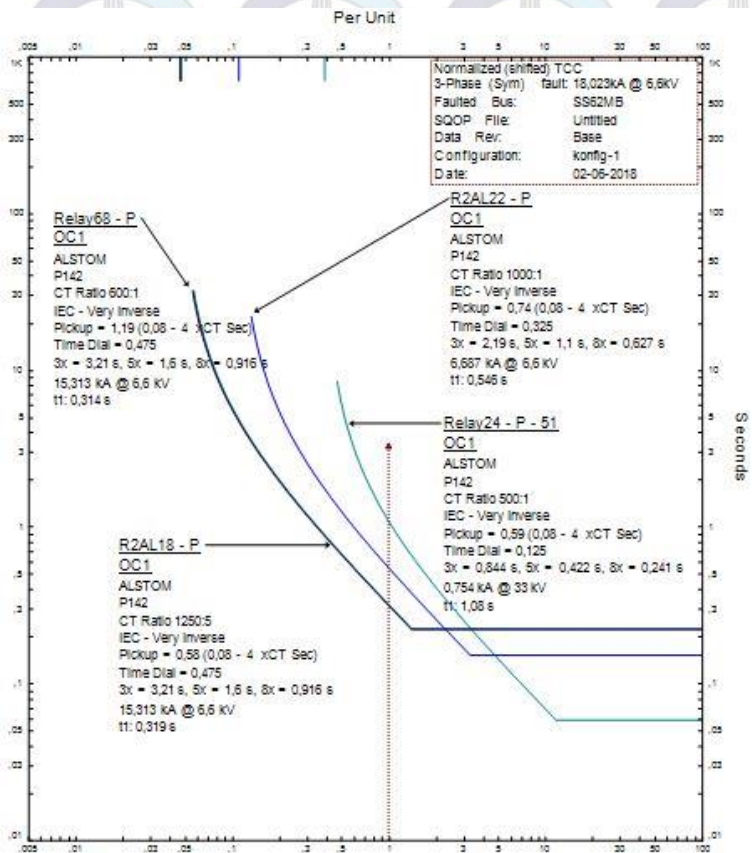
**Gambar 4. 37** Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus T62B-P

Dari gambar 4.37 terlihat bahwa waktu operasi rele 2 adalah 0,105 detik, sedangkan rele 68 adalah 0,32 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,215 detik. Sesuai standar *IEEE 242* koordinasi ini dapat dikatakan aman.





**Gambar 4. 38** Koordinasi Proteksi Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus SS62MB

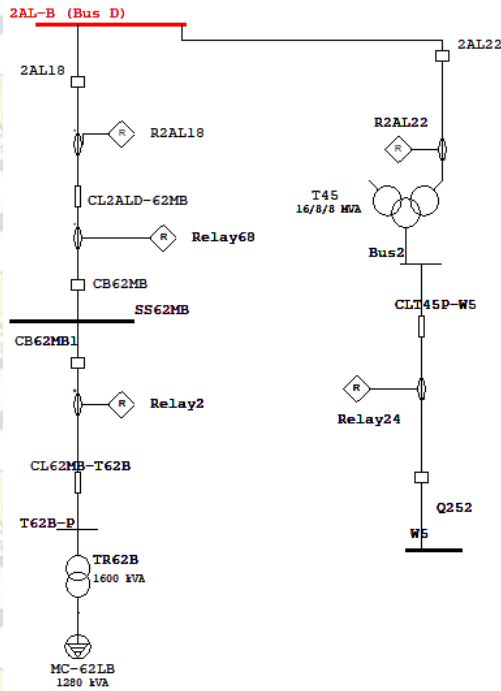


**Gambar 4. 39** Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus SS62MB

Dari gambar 4.39 terlihat bahwa waktu operasi rele 68 adalah 0,314 detik, sedangkan rele 68 adalah R2AL18 0,319 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,005detik. Koordinasi tersebut aman. Karena kedua rele tersebut memiliki nilai *setting* yang sama maka keduanya akan trip secara bersamaan sehingga CTI yang ideal adalah 0 detik, namun

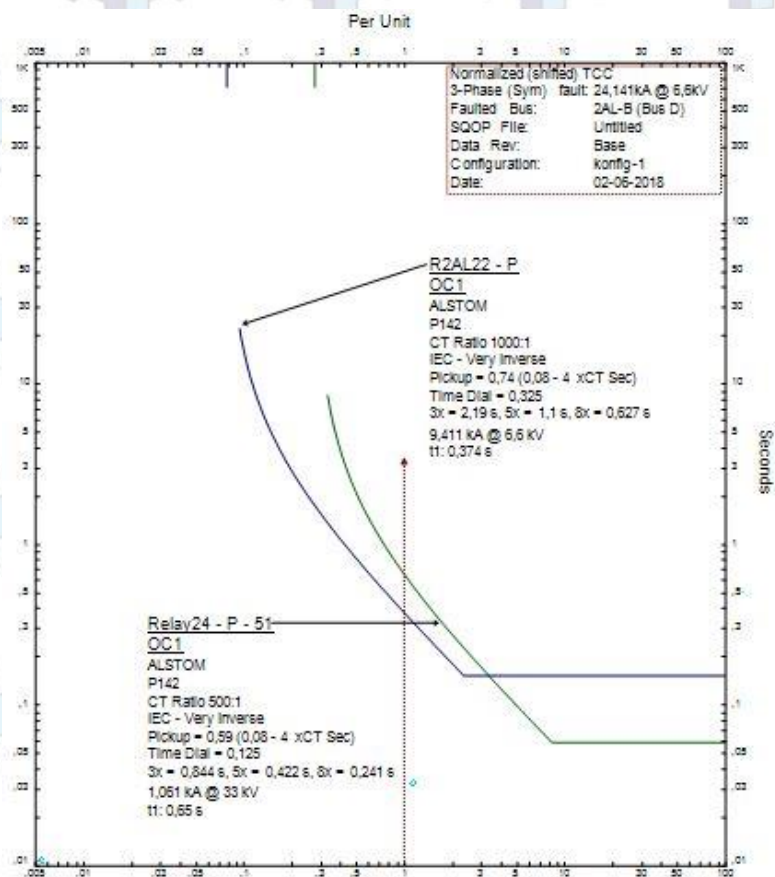
karena ada error karena nilai CT yang berbeda dari kedua rele yang akan mempengaruhi perbedaan nilai *pickup*, maka akan terdapat error CTI.

Selain itu terlihat juga bahwa waktu operasi R2AL18 adalah 0,319 detik sedangkan R2AL22 adalah 0,545 detik, sehingga didapatkan CTI 0,226 detik. Sesuai standar *IEEE 242* koordinasi ini dapat dikatakan aman.



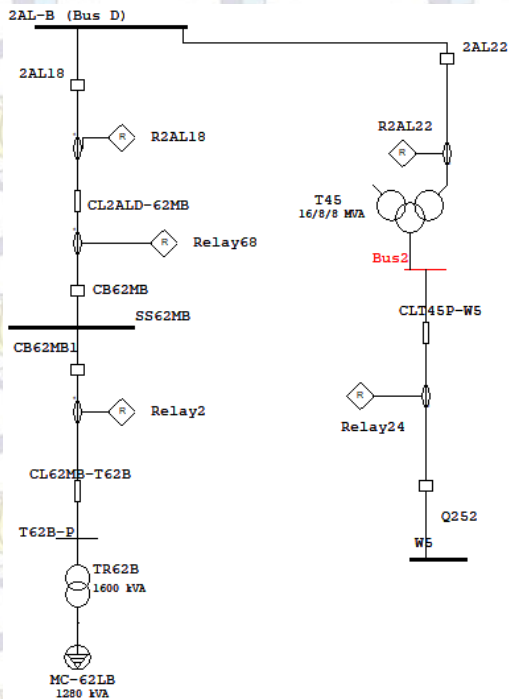
**Gambar 4. 40** Koordinasi Proteksi Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus 2AL-B (Bus-D)



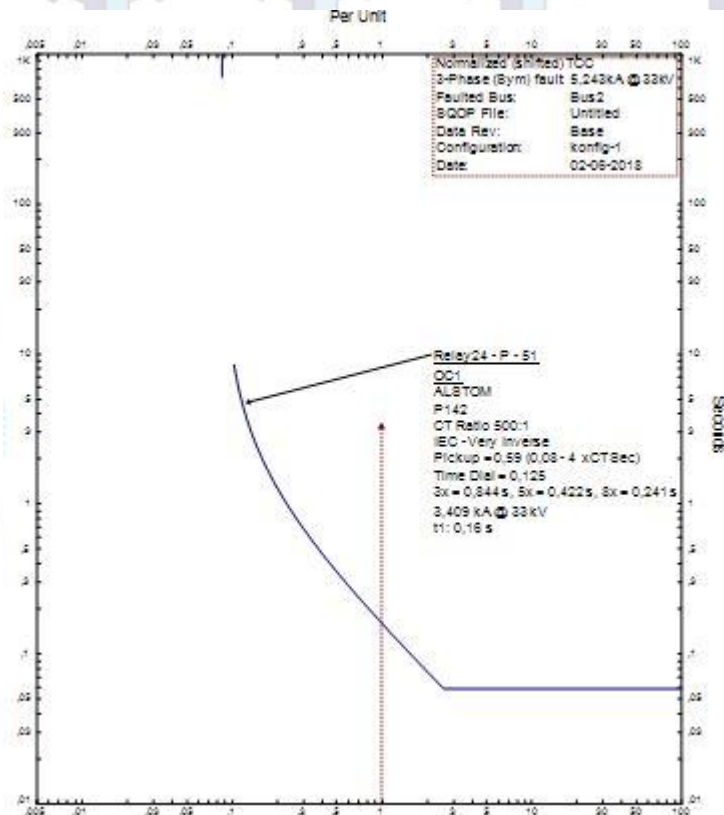


**Gambar 4. 41** Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus 2AL-B (Bus-D)

Dari gambar 4.41 terlihat bahwa waktu operasi R2AL22 adalah 0,374 detik, sedangkan relay24 adalah 0,65 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,276 detik. Sesuai standar *IEEE 242* koordinasi ini dapat dikatakan aman.



**Gambar 4. 42** Koordinasi Proteksi Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus 2



**Gambar 4. 43** Plot ETAP Tipikal 2 ketika Gangguan di Bus 2

Dari gambar 4.43, terlihat bahwa waktu operasi Relay24 adalah 0,16 detik.

Dari plot kurva TCC pada gambar 4.36 sampai 4.43, terlihat bahwa CTI dari tiap rele utama dan *backup* lebih besar dari 0,2 detik, dapat disimpulkan bahwa tiap rele sudah terkoordinasi dengan baik.

Waktu operasi tiap rele terhadap arus gangguan dapat dirangkum pada tabel 4.18.



**Tabel 4. 18** Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 2

No.	ID-Relay	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Konvergen pada Iterasi
1	Relay 2	0,225	0,1049	-	17
2	Relay 68	0,475	0,3130	0,3194	13
3	R2AL18	0,475	0,3130	0,3194	13
4	R2AL22	0,325	0,3716	0,5414	11
5	Relay 24	0,125	0,1592	0,6474	8

#### 4.4.3 Perhitungan TDS Tipikal 3

Untuk dapat menjalankan program dalam menghitung nilai TDS maka diperlukan beberapa parameter yang digunakan sebagai input, seperti yang terlihat pada gambar 4.22

```
masukkan jumlah relay           :2
masukkan tegangan relay         :[6.6 6.6]
masukkan kv base                 :6.6
masukkan fla                    :[160 984.1]
masukkan isc max primer         :[8630 5450]
masukkan isc max backup         :[inf 2580]
masukkan primer CT              :[400 1200]
masukkan Target CTI             :0.2
masukkan waktu target minimum   :0.1
masukkan waktu target maksimum  :0.9
masukkan pasangan relay         :[1 2]
```

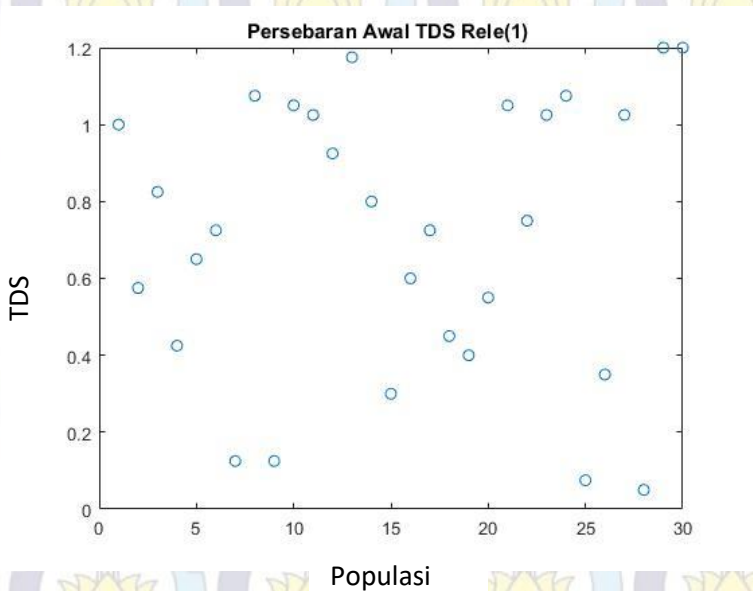
**Gambar 4. 44** Parameter *Input* Tipikal 3 ke Program

Untuk memudahkan saat perhitungan dalam program, maka tiap rele diberi kode sebagai berikut

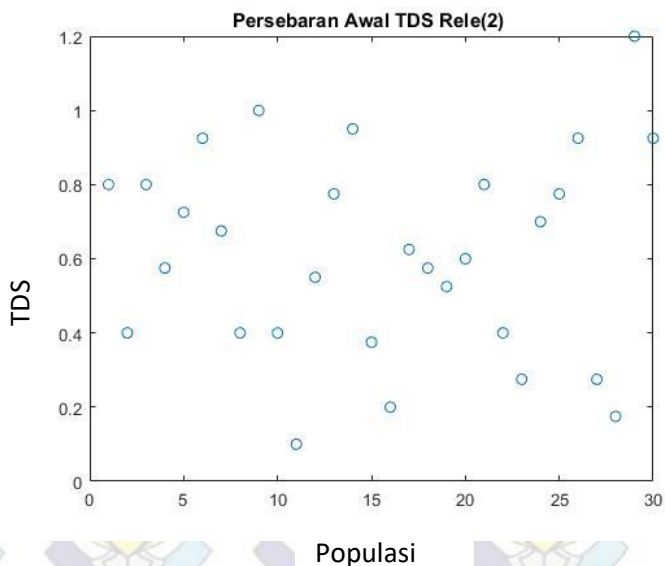
**Tabel 4. 19** Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 3

Relay No	ID Rele
1	RNP10
2	RNP8A

Selanjutnya akan dibangkitkan populasi awal nilai TDS secara acak sebanyak jumlah populasi yaitu 30 dan dengan nilai antara 0.025 – 1.2 sesuai dengan spesifikasi rele, seperti yang terlihat pada gambar 4.45 sampai 4.46.



**Gambar 4. 45** Persebaran Awal TDS Rele 1 Tipikal 3



**Gambar 4. 46** Persebaran Awal TDS Rele 2 Tipikal 3

Dari persebaran partikel di gambar 4.45 sampai 4.46 terlihat bahwa TDS dibangkitkan dengan nilai acak dan berada dalam *range* TDS rele, nilai TDS dari tiap rele dapat dirangkum di tabel 4.20

**Tabel 4. 20** Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 3

Populasi	TDS Rele 1	TDS Rele 2
1	1	0,8
2	0,575	0,4
3	0,825	0,8
4	0,425	0,575
5	0,65	0,725
6	0,725	0,925
7	0,125	0,675
8	1,075	0,4
9	0,125	1
10	1,05	0,4
11	1,025	0,1



**Tabel 4. 20** Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 3(lanjutan)

Populasi	TDS Rele 1	TDS Rele 2
12	0,925	0,55
13	1,175	0,775
14	0,8	0,95
15	0,3	0,375
16	0,6	0,2
17	0,725	0,625
18	0,45	0,575
19	0,4	0,525
20	0,55	0,6
21	1,05	0,8
22	0,75	0,4
23	1,025	0,275
24	1,075	0,7
25	0,075	0,775
26	0,35	0,925
27	1,025	0,275
28	0,05	0,175
29	1,2	1,2
30	1,2	0,925

Dari data TDS tabel 4.20 dapat dihitung nilai waktu operasi rele ketika menjadi rele utama maupun *backup* sesuai dengan persamaan kurva *very inverse*. Selanjutnya dapat dihitung *cost* tiap populasi, yaitu penjumlahan waktu operasi utama tiap rele.

**Tabel 4. 21** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 3

Populasi	<i>Cost</i>
1	2,9927
2	1,5313
3	2,9112
4	2,0141
5	2,5927
6	3,2594
7	2,1902
8	1,7643
9	3,2166

**Tabel 4. 21** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 3(lanjutan)

Populasi	<i>Cost</i>
10	1,7527
11	0,7935
12	2,1682
13	2,9953
14	3,3733
15	1,3242
16	0,9113
17	2,3118
18	2,0258
19	1,8446
20	2,1513
21	3,0160
22	1,6129
23	1,3462
24	2,7118
25	2,4827
26	3,0846
27	1,3462
28	0,5760
29	4,3493
30	3,4807

Selanjutnya pada *loop* utama algoritma *firefly*, di setiap iterasi akan dibandingkan *cost* tiap populasi, populasi yang memiliki *cost* (intensitas cahaya) tinggi akan bergerak menuju populasi dengan nilai *cost* lebih rendah, sehingga nilai TDS populasi dengan *cost* tinggi akan bergeser menuju TDS dengan *cost* rendah. *Cost* akan diperbarui pula di tiap iterasi.

Populasi dengan nilai *cost* paling minimum pada tiap iterasi akan terpilih menjadi target TDS minimum, nilai ini akan dibandingkan di tiap iterasi dan akan tergantikan oleh TDS yang memiliki *cost* lebih rendah.



**Tabel 4. 22** Nilai *Cost* Minimum Tiap Iterasi Tipikal 3

Iterasi	<i>Cost</i>	TDS Rele 1	TDS Rele 2
1	0,3443	0,4	0,05
2	0,3443	0,4	0,05
3	0,2628	0,225	0,05
4	0,2628	0,225	0,05
5	0,2628	0,225	0,05
.	.	.	.
50	0,2628	0,225	0,05

Pada akhir iterasi akan dipilih satu populasi dengan nilai *cost* paling rendah diantara yang lain. Populasi inilah yang terpilih sebagai TDS minimum atau *objective function* algoritma *firefly*.

Pada tabel 4.22, terlihat nilai *cost* minimum pada iterasi ke 1 adalah 0,3443 dan akan terus diperbarui sampai pada iterasi ke 50, dengan begitu TDS yang terpilih adalah TDS pada iterasi ke 50 yaitu 0,225 untuk rele 1 , 0,05 untuk rele 2.

Program akan memberikan hasil berupa beberapa parameter yang digunakan untuk setting relay 51, meliputi *Ipickup* dan TDS.

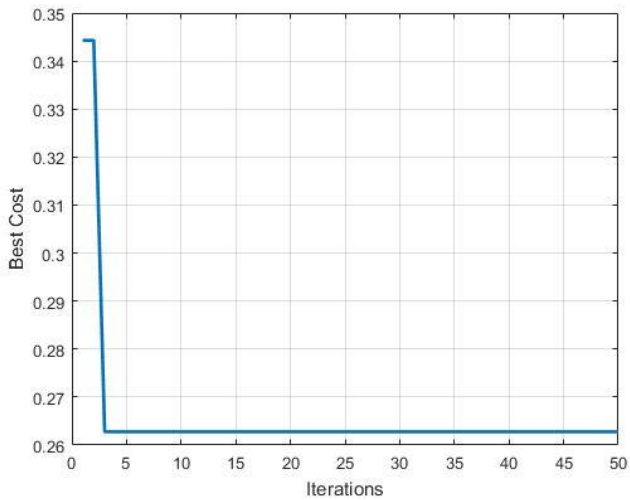
Relay No.	pickup	Ipickup	
1	0.42	168.00	
2	0.87	1044.00	
TIME DIAL			
=====			
Relay No.	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER
-----			
1	0.2250	0.1049	0.0000
2	0.0500	0.1579	0.4509

**Gambar 4. 47** Parameter *Output* Tipikal 3 dari Program

Didalam program, rele memiliki nomor urut. Konversi dari nomor urut dengan ID rele dapat dilihat pada tabel 4.22

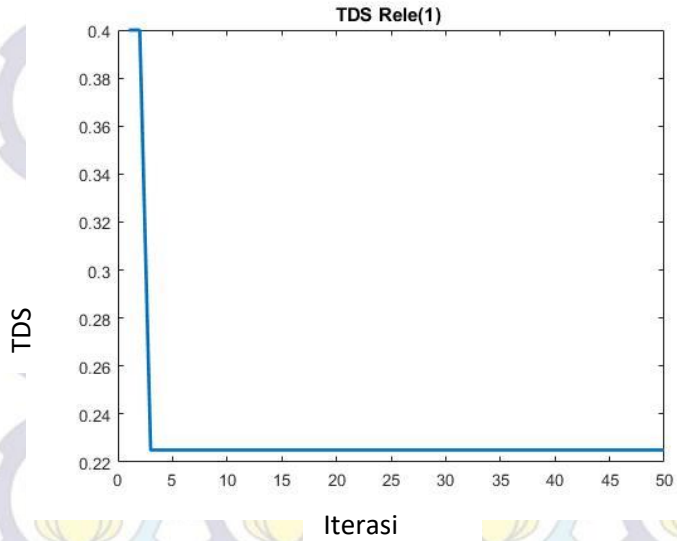
Pada gambar 4.48 akan terlihat nilai fungsi objektif (jumlah waktu operasi rele utama) dari tiap iterasi hingga mencapai suatu nilai konvergen pada sebuah nilai iterasi tertentu. Fungsi objektif konvergen di iterasi ke 3.



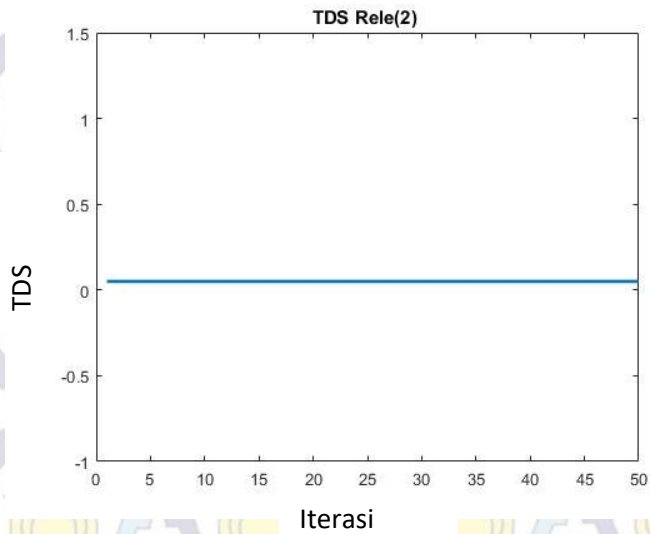


**Gambar 4. 48** Kurva Konvergensi Fungsi Objektif Tipikal 3

Selanjutnya diplot nilai TDS tiap rele untuk setiap iterasi dengan tujuan mengetahui pergerakan TDS dari masing-masing rele.

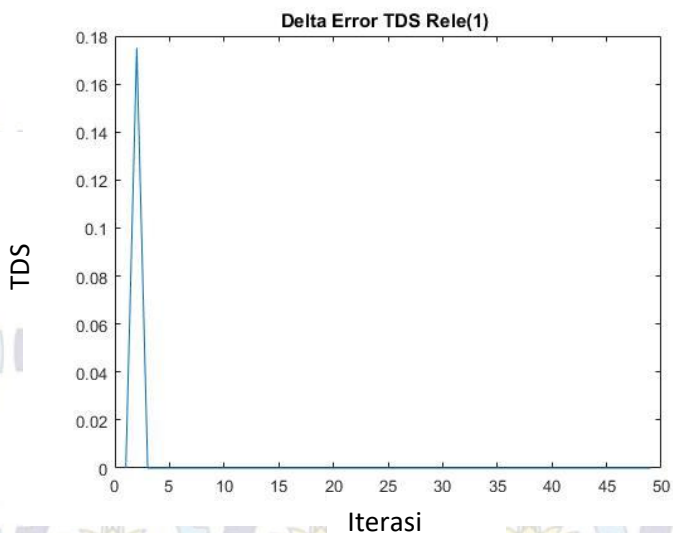


**Gambar 4. 49** Pergerakan TDS Rele 1 di Tiap Iterasi Tipikal 3



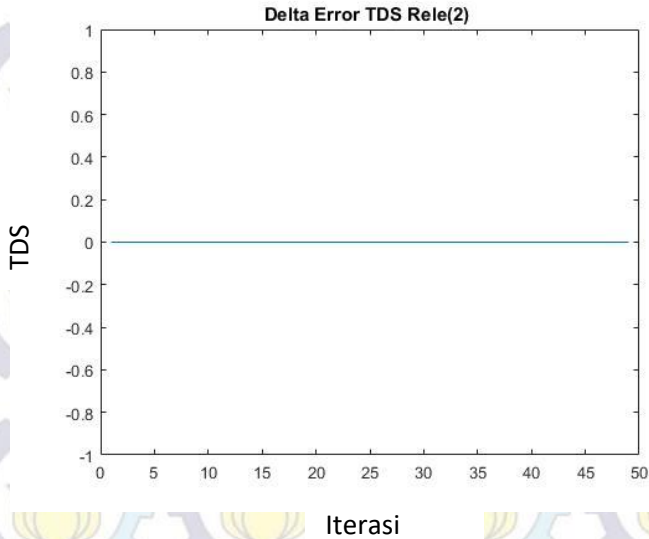
**Gambar 4. 50** Pergerakan TDS Rele 2 di Tiap Iterasi Tipikal 3

Selanjutnya diplot *delta error* dari tiap iterasi, *delta error* yaitu selisih dari nilai TDS ketika iterasi ke  $n$  dikurangi dengan iterasi ke  $n-1$ . Jika sudah mencapai nilai konvergen maka nilai *delta error* sama dengan 0.



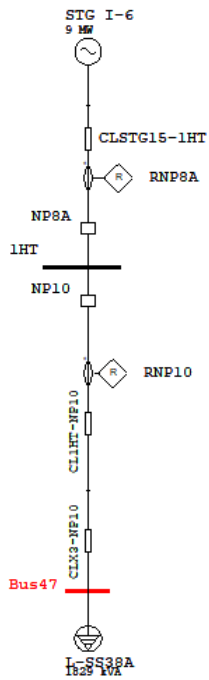
**Gambar 4.51** *Delta Error TDS* Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 3



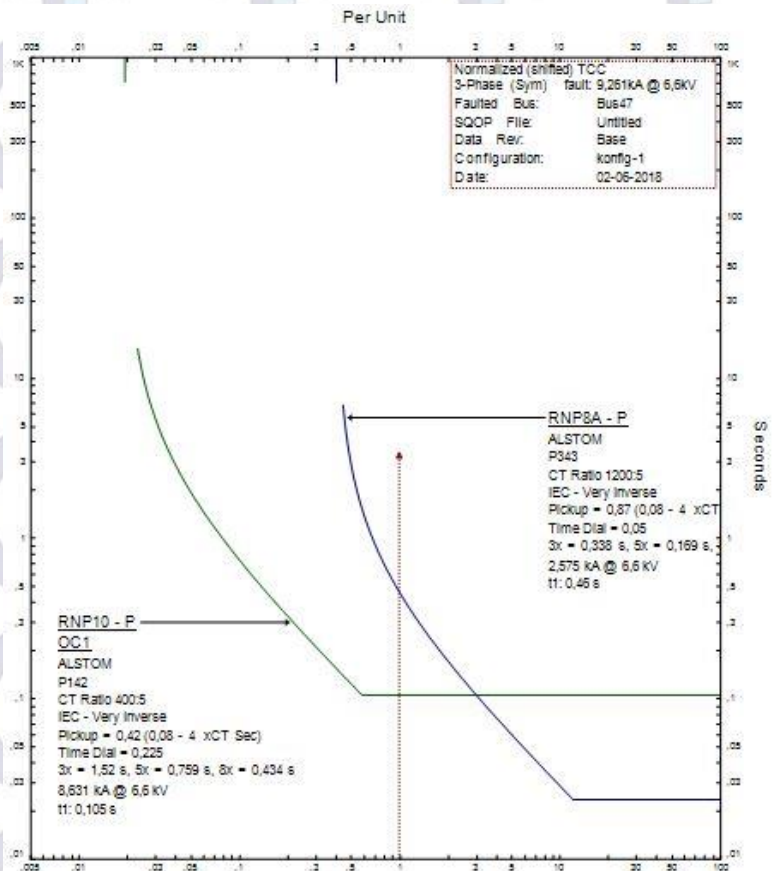


**Gambar 4. 52** *Delta Error TDS* Tiap Iterasi Rele 2 Tipikal 3

Selanjutnya akan dilakukan plot hasil TDS Tipikal 3 yang didapatkan dari program Menggunakan Software ETAP 12.6. Akan diamati waktu operasi rele utama dan *backup* ketika terjadi gangguan di beberapa titik.



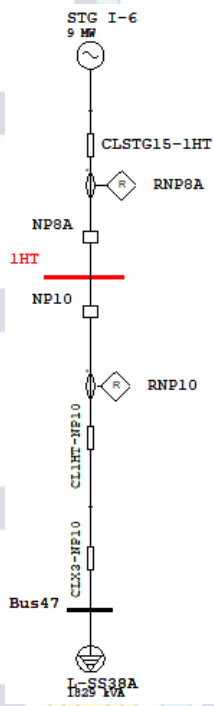
**Gambar 4. 53** Koordinasi Proteksi Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus 47



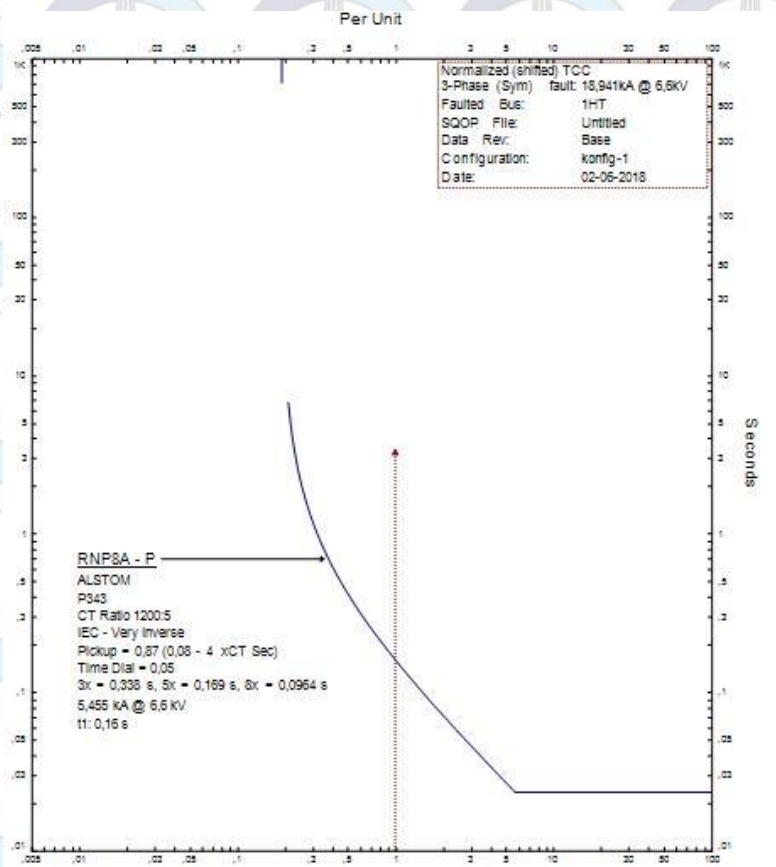
**Gambar 4. 54** Plot ETAP Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus 47

Dari gambar 4.54 terlihat bahwa waktu operasi RNP10 adalah 0,105 detik, sedangkan RNP8A adalah 0,45 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,355 detik. Sesuai standar *IEEE 242* koordinasi ini dapat dikatakan aman.





**Gambar 4. 55** Koordinasi Proteksi Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus 1 HT



**Gambar 4. 56** Plot ETAP Tipikal 3 ketika Gangguan di Bus 1HT

Dari plot kurva TCC pada gambar 4.53 sampai 4.56, terlihat bahwa CTI dari tiap rele utama dan *backup* lebih besar dari 0,2 detik, dapat disimpulkan bahwa tiap rele sudah terkoordinasi dengan baik.

Waktu operasi tiap rele terhadap arus gangguan dapat dirangkum pada tabel.

**Tabel 4. 23** Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 3

No.	ID-Relay	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Konvergen pada Iterasi
1	RNP10	0,225	0,1049	-	3
2	RNP8A	0,05	0,1579	0,4509	1

#### 4.4.4 Perhitungan TDS Tipikal 4

Untuk dapat menjalankan program dalam menghitung nilai TDS maka diperlukan beberapa parameter yang digunakan sebagai input, seperti yang terlihat pada gambar 4.30

```
masukkan jumlah relay           :3
masukkan tegangan relay         :[6.6 6.6 33]
masukkan kv base                 :6.6
masukkan fla                    :[160 699.8 279.9]
masukkan isc max primer         :[8630 9530 3520]
masukkan isc max backup         :[inf 4500 1050]
masukkan primer CT              :[400 1000 500]
masukkan Target CTI             :0.2
masukkan waktu target minimum   :0.1
masukkan waktu target maksimum  :0.9
masukkan pasangan relay         :[1 2; 2 3]
```

**Gambar 4. 57** Parameter *Input* Tipikal 4 ke Program

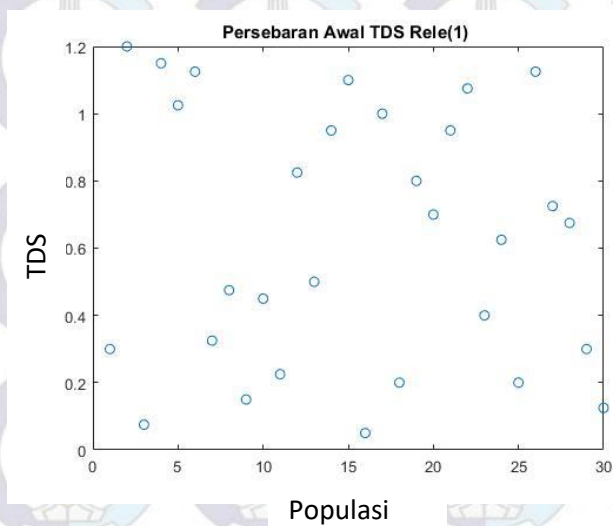
Untuk memudahkan saat perhitungan dalam program, maka tiap rele diberi kode sebagai berikut

**Tabel 4. 24** Data Nomor Rele Pada Program Tipikal 4

Relay No	ID Rele
1	RNP10
2	Relay 190
3	Relay 22

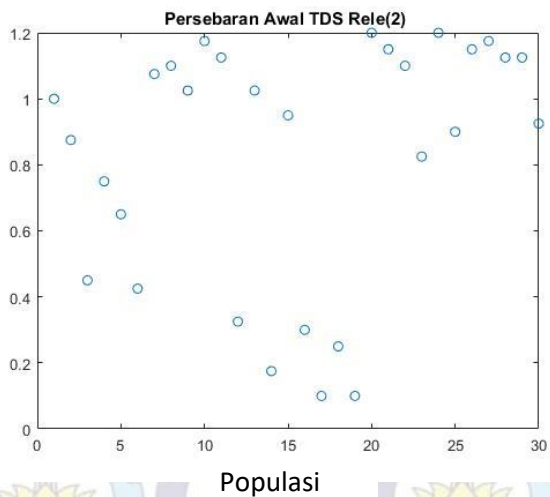
Selanjutnya akan dibangkitkan populasi awal nilai TDS secara acak sebanyak jumlah populasi yaitu 30 dan dengan nilai antara 0.025 – 1.2 sesuai dengan spesifikasi rele, seperti yang terlihat pada gambar 4.58 sampai 4.60.





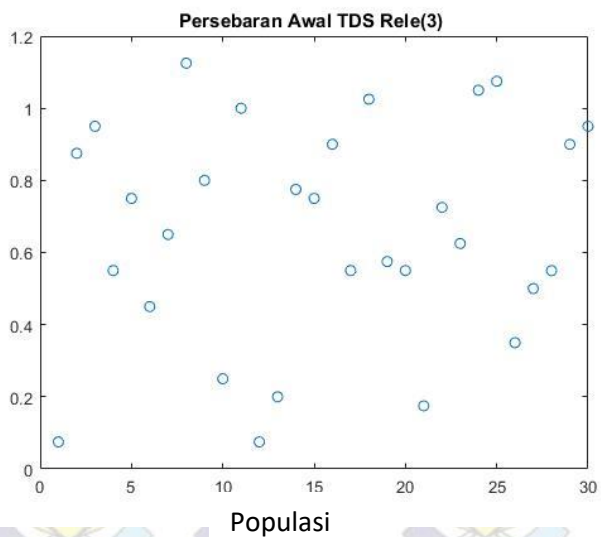
**Gambar 4. 58** Persebaran Awal TDS Rele 1 Tipikal 4

TDS



**Gambar 4. 59** Persebaran Awal TDS Rele 2 Tipikal 4

TDS



**Gambar 4. 60** Persebaran Awal TDS Rele 3 Tipikal 4

Selanjutnya akan dibangkitkan populasi awal nilai TDS secara acak sebanyak jumlah populasi yaitu 30 dan dengan nilai antara 0.025 – 1.2 sesuai dengan spesifikasi rele, seperti yang terlihat pada gambar 4.58 sampai 4.60.

**Tabel 4. 25** Nilai Persebaran TDS Rele Tipikal 4

Populasi	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3
1	0,3	1	0,075
2	1,2	0,875	0,875
3	0,075	0,45	0,95
4	1,15	0,75	0,55
5	1,025	0,65	0,75
6	1,125	0,425	0,45
7	0,325	1,075	0,65
8	0,475	1,1	1,125
9	0,15	1,025	0,8
10	0,45	1,175	0,25
11	0,225	1,125	1
12	0,825	0,325	0,075
13	0,5	1,025	0,2
14	0,95	0,175	0,775
15	1,1	0,95	0,75
16	0,05	0,3	0,9
17	1	0,1	0,55
18	0,2	0,25	1,025
19	0,8	0,1	0,575
20	0,7	1,2	0,55
21	0,95	1,15	0,75
22	1,075	1,1	0,725
23	0,4	0,825	0,625
24	0,625	1,2	1,05
25	0,2	0,9	1,075
26	1,125	1,15	0,35
27	0,725	1,175	0,5
28	0,675	1,125	0,55
29	0,3	1,125	0,9
30	0,125	0,925	0,95



Dari data TDS tabel 4.25 dapat dihitung nilai waktu operasi rele ketika menjadi rele maupun *backup*. Selanjutnya dapat dihitung *cost* tiap populasi, yaitu penjumlahan waktu operasi utama tiap rele.

**Tabel 4. 26** *Cost* Setiap Populasi Tipikal 4

Populasi	<i>Cost</i>
1	1,3599
2	2,6222
3	1,7108
4	2,0582
5	2,1331
6	1,5570
7	2,1633
8	2,8455
9	2,2098
10	1,8424
11	2,6035
12	0,8432
13	1,6350
14	1,5932
15	2,5064
16	1,4685
17	1,2552
18	1,6357
19	1,1927
20	2,3560
21	1,9549
22	2,6332
23	1,8855
24	2,9360
25	2,4303
26	2,2517
27	2,2780
28	2,2598
29	2,5155
30	2,2699

Selanjutnya pada *loop* utama algoritma *firefly*, di setiap iterasi akan dibandingkan *cost* tiap populasi, populasi yang memiliki *cost* (intensitas cahaya) tinggi akan bergerak menuju populasi dengan nilai *cost* lebih rendah, sehingga nilai TDS populasi dengan *cost* tinggi akan bergeser menuju TDS dengan *cost* rendah. *Cost* akan diperbarui pula di tiap iterasi.

Populasi dengan nilai *cost* paling minimum pada tiap iterasi akan terpilih menjadi target TDS minimum, nilai ini akan dibandingkan di tiap iterasi dan akan tergantikan oleh TDS yang memiliki *cost* lebih rendah.

**Tabel 4. 27** Nilai *Cost* Minimum Tiap Iterasi Tipikal 4

Iterasi	<i>Cost</i>	TDS Rele 1	TDS Rele 2	TDS Rele 3
1	0,8783	0,4	0,15	0,425
2	0,6588	0,325	0,15	0,275
3	0,5000	0,325	0,2	0,1
4	0,4536	0,275	0,125	0,15
5	0,4229	0,275	0,125	0,125
.	.	.	.	.
50	0,3688	0,225	0,125	0,1

Pada akhir iterasi akan dipilih satu populasi dengan nilai *cost* paling rendah diantara yang lain. Populasi inilah yang terpilih sebagai TDS minimum atau *objective function* algoritma *firefly*.

Pada tabel 4.27, terlihat nilai *cost* minimum pada iterasi ke 1 adalah 0,8783 dan akan terus diperbarui sampai pada iterasi ke 50, dengan begitu TDS yang terpilih adalah TDS pada iterasi ke 50 yaitu 0,225 untuk rele 1 , 0,125 untuk rele 2 , dan 0,1 untuk rele ke 3

Program akan memberikan hasil berupa beberapa parameter yang digunakan untuk setting relay 51, meliputi *Ipickup* dan TDS.

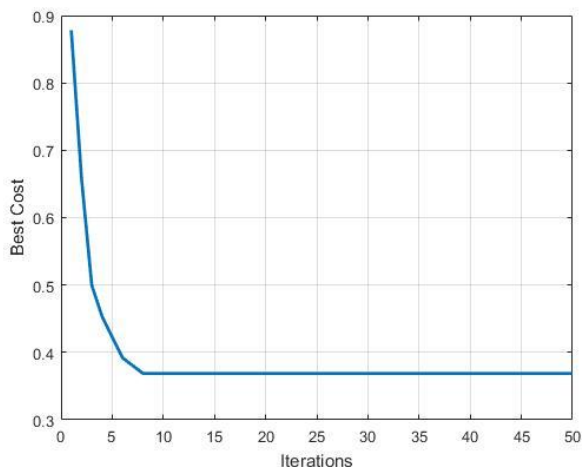
Relay No.	<i>pickup</i>	<i>Ipickup</i>
1	0.42	168.00
2	0.74	740.00
3	0.59	294.00

TIME DIAL

Relay No.	TDS	WAKTU OPERASI PRIMER	WAKTU OPERASI SEKUNDER
1	0.2250	0.1049	0.0000
2	0.1250	0.1410	0.3293
3	0.1000	0.1230	0.5247

**Gambar 4. 61** Parameter *Output* Tipikal 4 dari Program

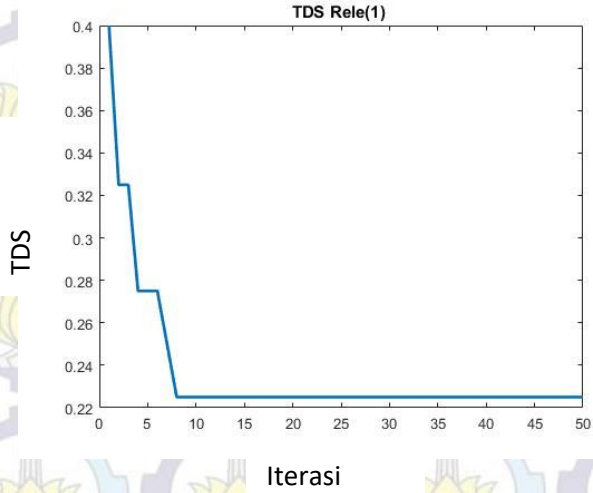
Pada gambar 4.62 akan terlihat nilai fungsi objektif (jumlah waktu operasi rele utama) dari tiap iterasi hingga mencapai suatu nilai konvergen pada sebuah nilai iterasi tertentu. Fungsi objektif konvergen di iterasi ke 8.



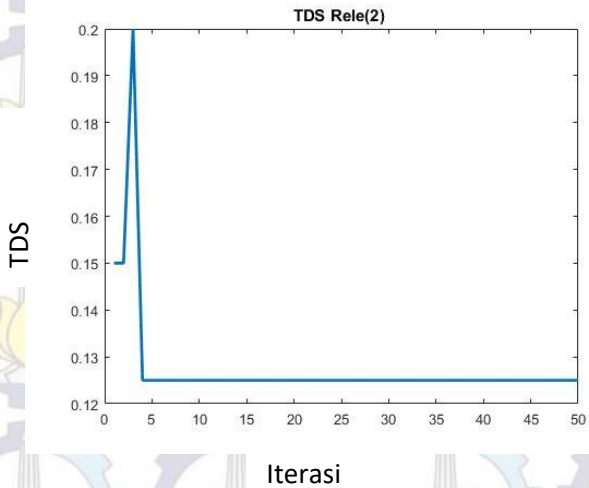
**Gambar 4. 62** Kurva Konvergensi Fungsi Objektif Tipikal 4

Selanjutnya diplot *delta error* dari tiap iterasi, *delta error* yaitu selisih dari nilai TDS ketika iterasi ke  $n$  dikurangi dengan iterasi ke  $n-1$ . Jika sudah mencapai nilai konvergen maka nilai *delta error* sama dengan 0.

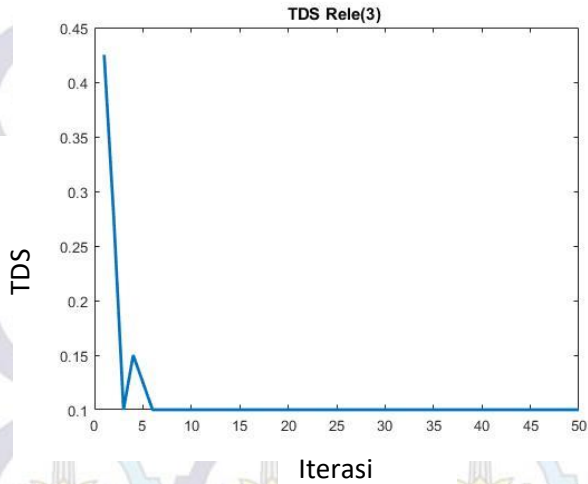




**Gambar 4. 63** Pergerakan TDS Rele 1 di Tiap Iterasi Tipikal 4

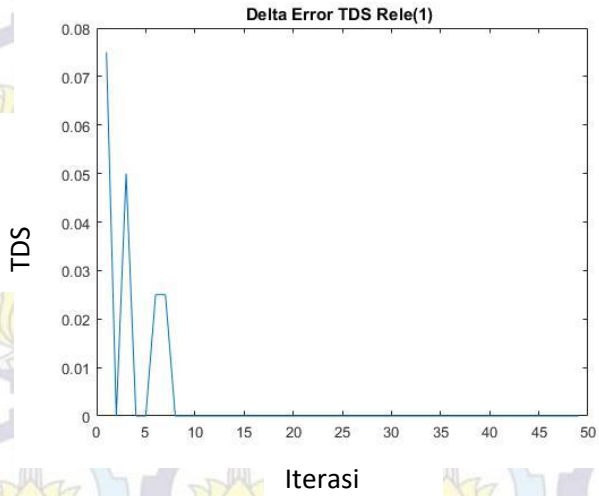


**Gambar 4. 64** Pergerakan TDS Rele 2 di Tiap Iterasi Tipikal 4

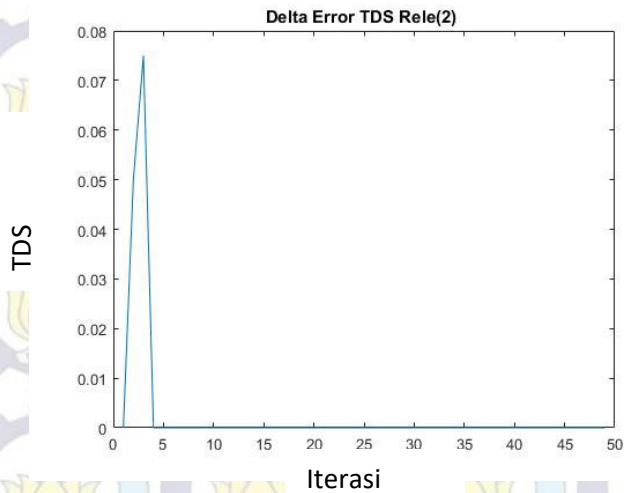


**Gambar 4. 65** Pergerakan TDS Rele 3 di Tiap Iterasi Tipikal 4

Selanjutnya diplot *delta error* dari tiap iterasi, *delta error* yaitu selisih dari nilai TDS ketika iterasi ke  $n$  dikurangi dengan iterasi ke  $n-1$ . Jika sudah mencapai nilai konvergen maka nilai *delta error* sama dengan 0.

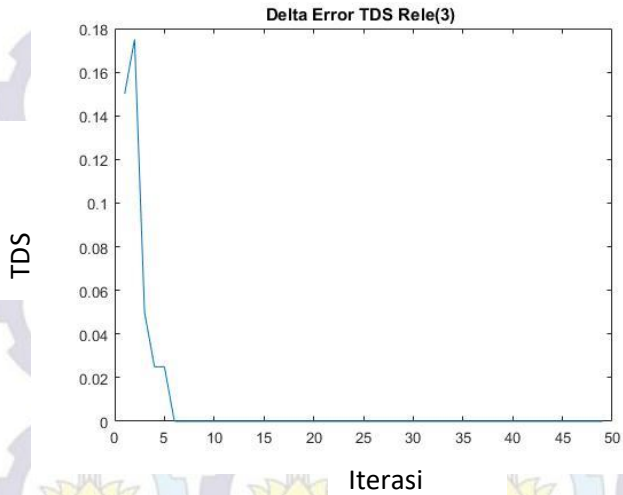


**Gambar 4. 66** *Delta Error TDS* Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 4



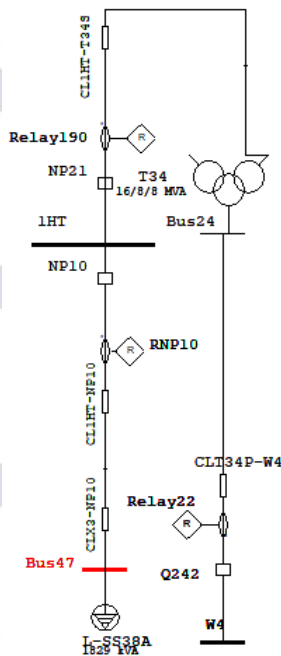
**Gambar 4. 67** *Delta Error TDS* Tiap Iterasi Rele 2 Tipikal 4



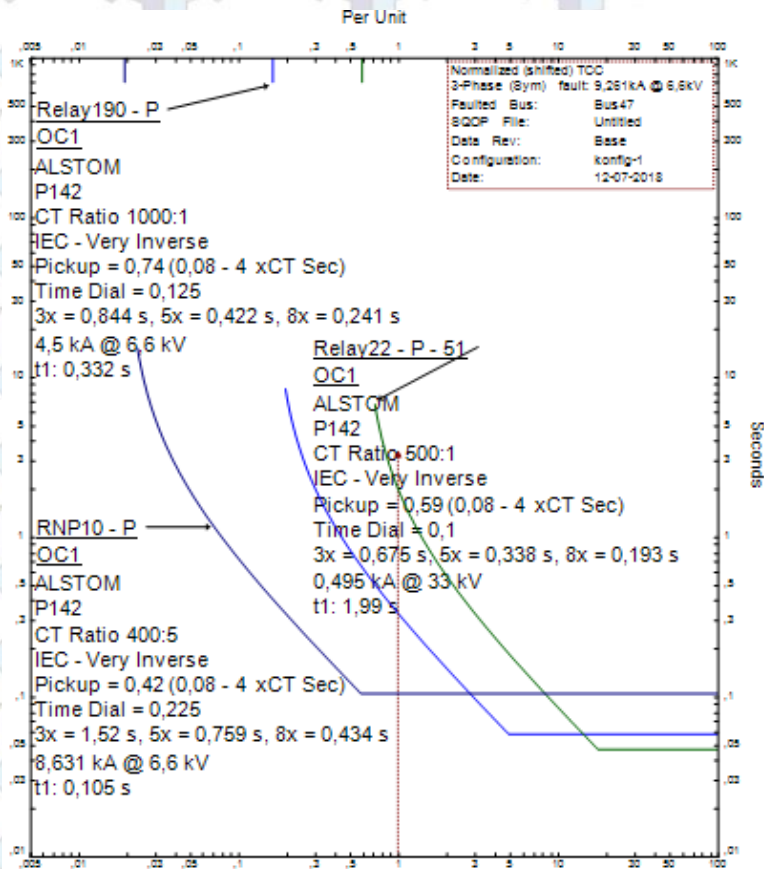


**Gambar 4. 68** *Delta Error TDS* Tiap Iterasi Rele 1 Tipikal 4

Selanjutnya akan dilakukan plot hasil TDS Tipikal 4 yang didapatkan dari program Menggunakan Software ETAP 12.6. Akan diamati waktu operasi rele utama dan *backup* ketika terjadi gangguan di beberapa titik.



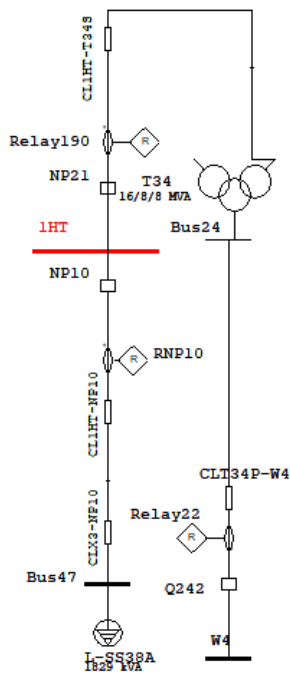
**Gambar 4. 69** Koordinasi Proteksi Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 47



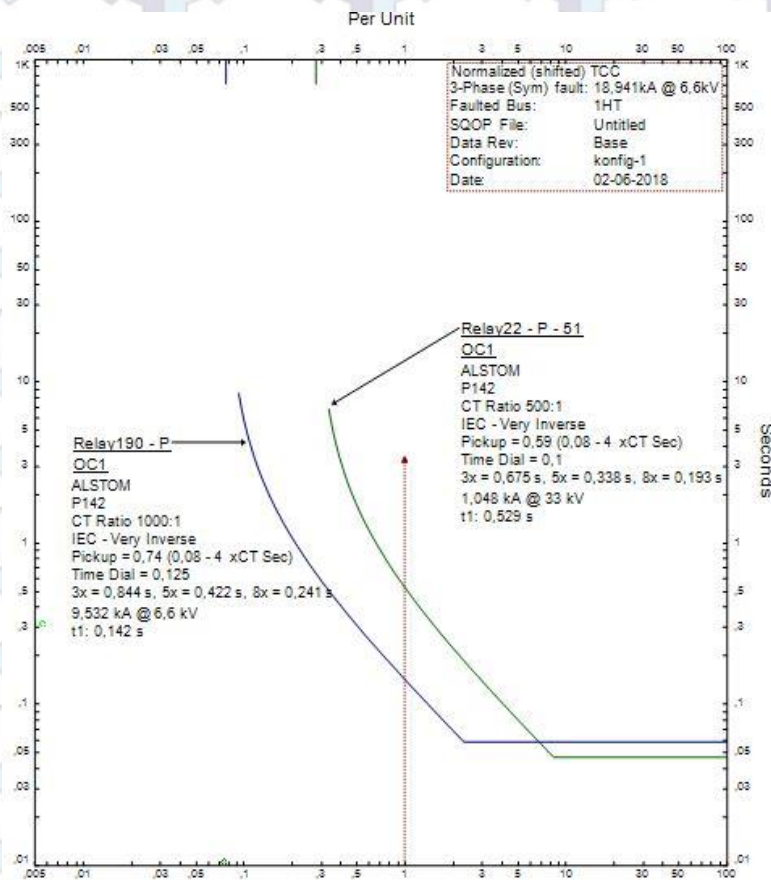
**Gambar 4. 70** Plot ETAP Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 47

Dari gambar 4.70 terlihat bahwa waktu operasi RNP10 adalah 0,105 detik, sedangkan relay190 adalah 0,332 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,227 detik. Sesuai standar IEEE 242 koordinasi ini dapat dikatakan aman.



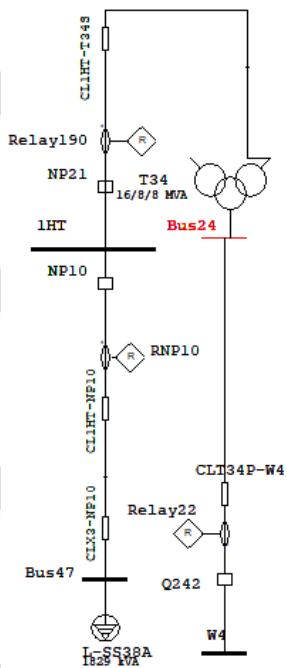


**Gambar 4. 71** Koordinasi Proteksi Tipikal 1 ketika Gangguan di Bus 1 HT



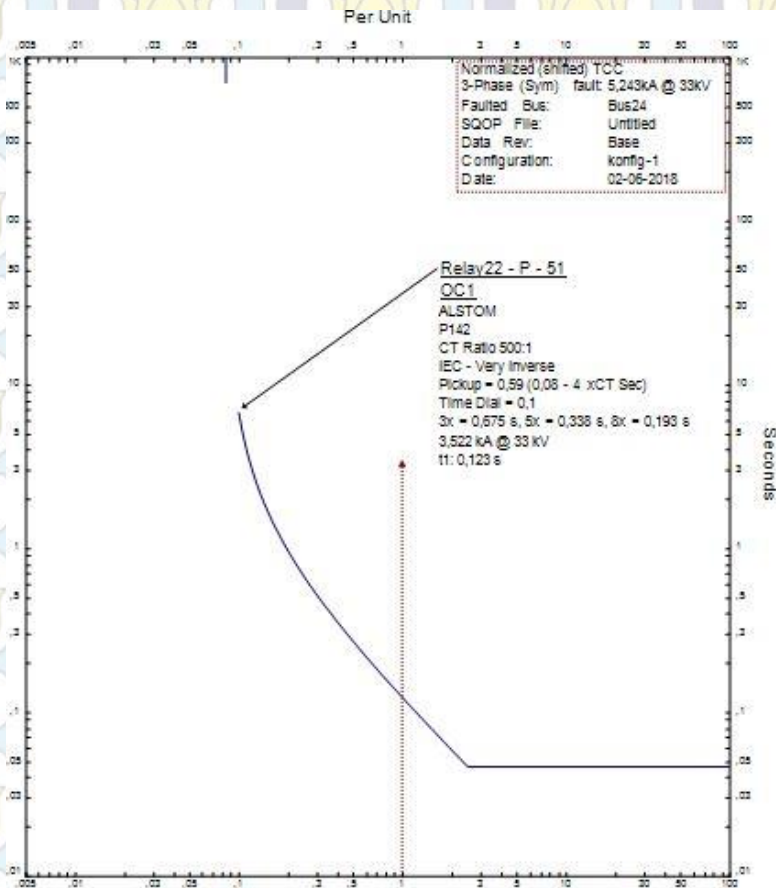
**Gambar 4. 72** Plot ETAP Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 1 HT

Dari gambar 4.72 terlihat bahwa waktu operasi Relay190 adalah 0,142 detik, sedangkan relay22 adalah 0,529 detik, sehingga didapatkan CTI sebesar 0,387 detik. Sesuai standar *IEEE 242* koordinasi ini dapat dikatakan aman.



**Gambar 4. 73** Koordinasi Proteksi Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 24





**Gambar 4. 74** Plot ETAP Tipikal 4 ketika Gangguan di Bus 24

Dari gambar 4.41 terlihat bahwa waktu operasi Relay22 adalah 0,123 detik.

Dari plot kurva TCC pada gambar 4.69 sampai 4.74, terlihat bahwa CTI dari tiap rele utama dan *backup* lebih besar dari 0,2 detik, dapat disimpulkan bahwa tiap rele sudah terkoordinasi dengan baik.

Waktu operasi tiap rele terhadap arus gangguan dapat dirangkum pada tabel.

**Tabel 4. 28** Rangkuman Waktu Operasi Rele Tipikal 4

No.	ID-Relay	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Konvergen pada Iterasi
1	RNP10	0,225	0,1049	-	8
2	Relay 190	0,125	0,1410	0,3293	4
3	Relay 22	0,1	0,1230	0,5247	6

#### 4.4.5 Rangkuman Nilai TDS Tiap Rele Menggunakan Program

Dari perhitungan TDS menggunakan program pada tipikal 1 sampai tipikal 4, didapatkan hasil seperti pada tabel 4.29 hingga 4.32 berikut.

**Tabel 4. 29** Rangkuman Nilai TDS Tipikal 1 Menggunakan Program

No.	ID-Relay	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Konvergen pada Iterasi
1	Relay 2	0,225	0,1049	-	4
2	Relay 68	0,475	0,3130	0,3194	4
3	R2AL18	0,475	0,3130	0,3194	4
4	R2AL21	0,125	0,3417	0,5244	5

Tipikal 1 terdapat 4 buah rele yang telah dihitung nilai TDSnya. Keempat rele tersebut memiliki rata-rata waktu operasi utama 0,2614 detik dan rata – rata konvergen pada iterasi ke 4.25

**Tabel 4. 30** Rangkuman Nilai TDS Tipikal 2 Menggunakan Program

No.	ID-Relay	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Konvergen pada Iterasi
1	Relay 2	0,225	0,1049	-	17
2	Relay 68	0,475	0,3130	0,3194	13

**Tabel 4. 30** Rangkuman Nilai TDS Tipikal 2 Menggunakan Program (lanjutan)

No.	ID-Relay	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Konvergen pada Iterasi
3	R2AL18	0,475	0,3130	0,3194	13
4	R2AL22	0,325	0,3716	0,5414	11
5	Relay 24	0,125	0,1592	0,6474	8

Tipikal 2 terdapat 4 buah rele yang telah dihitung nilai TDSnya. Kelima rele tersebut memiliki rata-rata waktu operasi utama 0,25234 detik dan rata – rata konvergen pada iterasi ke 12,4

**Tabel 4. 31** Rangkuman Nilai TDS Tipikal 3 Menggunakan Program

No.	ID-Relay	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Konvergen pada Iterasi
1	RNP10	0,225	0,1049	-	3
2	RNP8A	0,05	0,1579	0,4509	1

Tipikal 3 terdapat 2 buah rele yang telah dihitung nilai TDSnya. Kedua rele tersebut memiliki rata-rata waktu operasi utama 0,1314 detik dan rata – rata konvergen pada iterasi ke 2

**Tabel 4. 32** Rangkuman Nilai TDS Tipikal 4 Menggunakan Program

No.	ID-Relay	TDS	Top Utama (detik)	Top Backup (detik)	Konvergen pada Iterasi
1	RNP10	0,225	0,1049	-	8
2	Relay 190	0,125	0,1410	0,3293	4
3	Relay 22	0,1	0,1230	0,5247	6

Tipikal 4 terdapat 3 buah rele yang telah dihitung nilai TDSnya. Ketiga rele tersebut memiliki rata-rata waktu operasi utama 0,1229 detik dan rata – rata konvergen pada iterasi ke 6

#### 4.5 Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dan Program



Dari hasil perhitungan manual TDS, didapatkan hasil seperti pada tabel 4.33 dan 4.34 berikut.

**Tabel 4. 33** Data Nilai TDS Perhitungan Manual

No	Tipikal 1		Tipikal 2	
	ID Relay	TDS	ID Relay	TDS
1	Relay 2	0,225	Relay 2	0,225
2	Relay 68	0,475	Relay 68	0,475
3	R2AL18	0,475	R2AL18	0,475
4	R2AL21	0,125	R2AL22	0,325
5	-	-	Relay 24	0,125

**Tabel 4.33** Data Nilai TDS Perhitungan Manual (lanjutan)

No	Tipikal 1		Tipikal 2	
	ID Relay	TDS	ID Relay	TDS
1	RNP10	0,225	RNP10	0,225
2	RNP8A	0,05	Relay 190	0,125
3	-	-	Relay 22	0,1

Selanjutnya adalah hasil nilai TDS yang diperoleh dari perhitungan melalui program, yang dapat dilihat pada tabel 4.34

**Tabel 4. 34** Data Nilai TDS Perhitungan melalui Program

No	Tipikal 1		Tipikal 2	
	ID Relay	TDS	ID Relay	TDS
1	Relay 2	0,225	Relay 2	0,225
2	Relay 68	0,475	Relay 68	0,475
3	R2AL18	0,475	R2AL18	0,475
4	R2AL21	0,125	R2AL22	0,325
5	-	-	Relay 24	0,125

**Tabel 4.34** Data Nilai TDS Perhitungan melalui Program (lanjutan)

No	Tipikal 1		Tipikal 2	
	ID Relay	TDS	ID Relay	TDS
1	RNP10	0,225	RNP10	0,225
2	RNP8A	0,05	Relay 190	0,125
3	-	-	Relay 22	0,1

Dari hasil perhitungan manual dan program didapatkan nilai TDS yang sama untuk perhitungan pada tipikal 1 sampai 4, hal ini menunjukkan bahwa program dapat menghasilkan nilai TDS yang minimum yang sesuai dengan perhitungan manual. Sehingga dapat disimpulkan bahwa program sudah teruji dan dapat digunakan untuk mencari nilai TDS minimum.

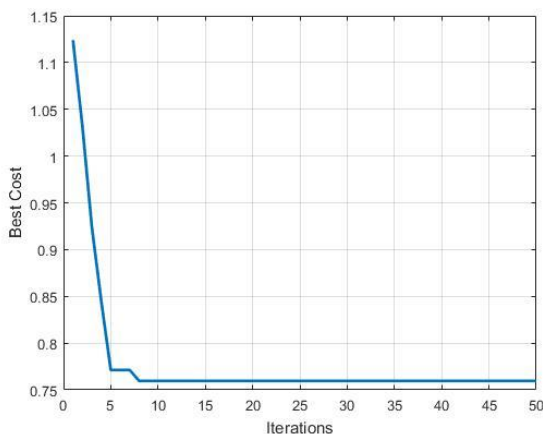
#### 4.6 Perbandingan Menggunakan Metode FA, MFA, dan AMFA

Perbedaan dari metode FA, MFA dan AMFA terletak pada nilai alpha, pada FA nilai FA dipilih konstan pada tiap iterasi, pada MFA nilai alpha akan dikurangi suatu nilai konstanta pada tiap iterasi, sedangkan pada metode AMFA nilai alpha akan berubah di tiap iterasi sesuai dengan persamaan

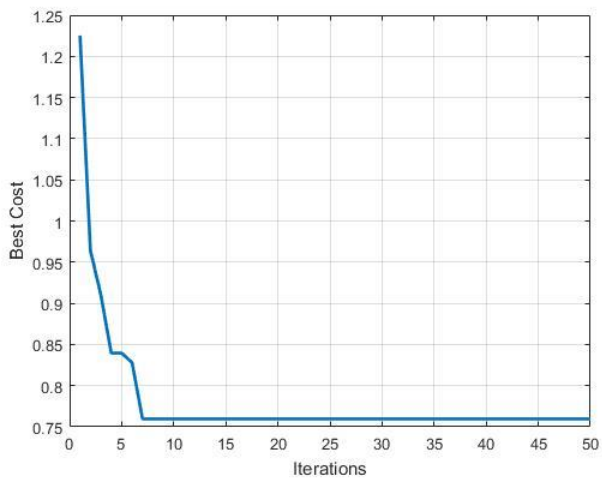
$$\alpha^{k+1} = \alpha^k \times \left( \frac{1}{2} \times k_{max} \right)^{\frac{1}{k_{max}+1}} \quad (4.1)$$

dimana k adalah iterasi, dan k max adalah iterasi maksimum.

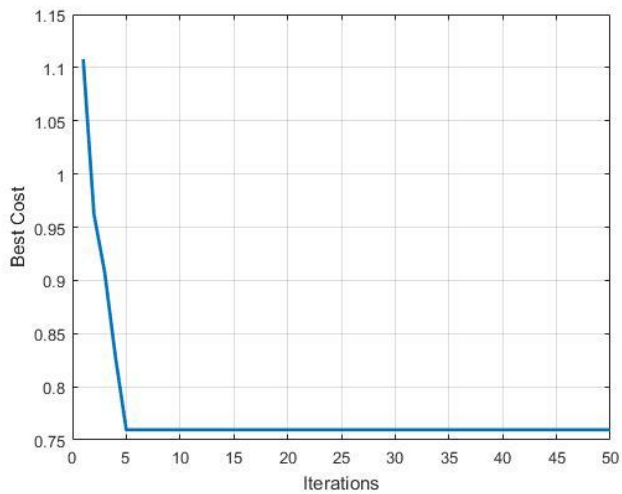
Dari ketiga metode tersebut akan menghasilkan waktu konvergen yang berbeda beda, ketika diuji pada tipikal 1 akan dihasilkan respon konvergensi sebagai berikut.



**Gambar 4. 75** Konvergensi ketika Menggunakan FA




**Gambar 4. 76** Konvergensi ketika menggunakan Metode MFA



**Gambar 4. 77** Konvergensi ketika Menggunakan Metode AMFA





Dari gambar 4.75 terlihat bahwa perhitungan menggunakan FA konvergen pada iterasi ke 8, pada gambar 4.76 perhitungan menggunakan MFA konvergen pada iterasi ke 7, sedangkan pada gambar 4.77 terlihat bahwa perhitungan menggunakan AMFA konvergen pada iterasi ke 5. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perhitungan menggunakan AMFA dapat mencapai waktu konvergensi lebih cepat dibandingkan ketika menggunakan metode FA maupun MFA.

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

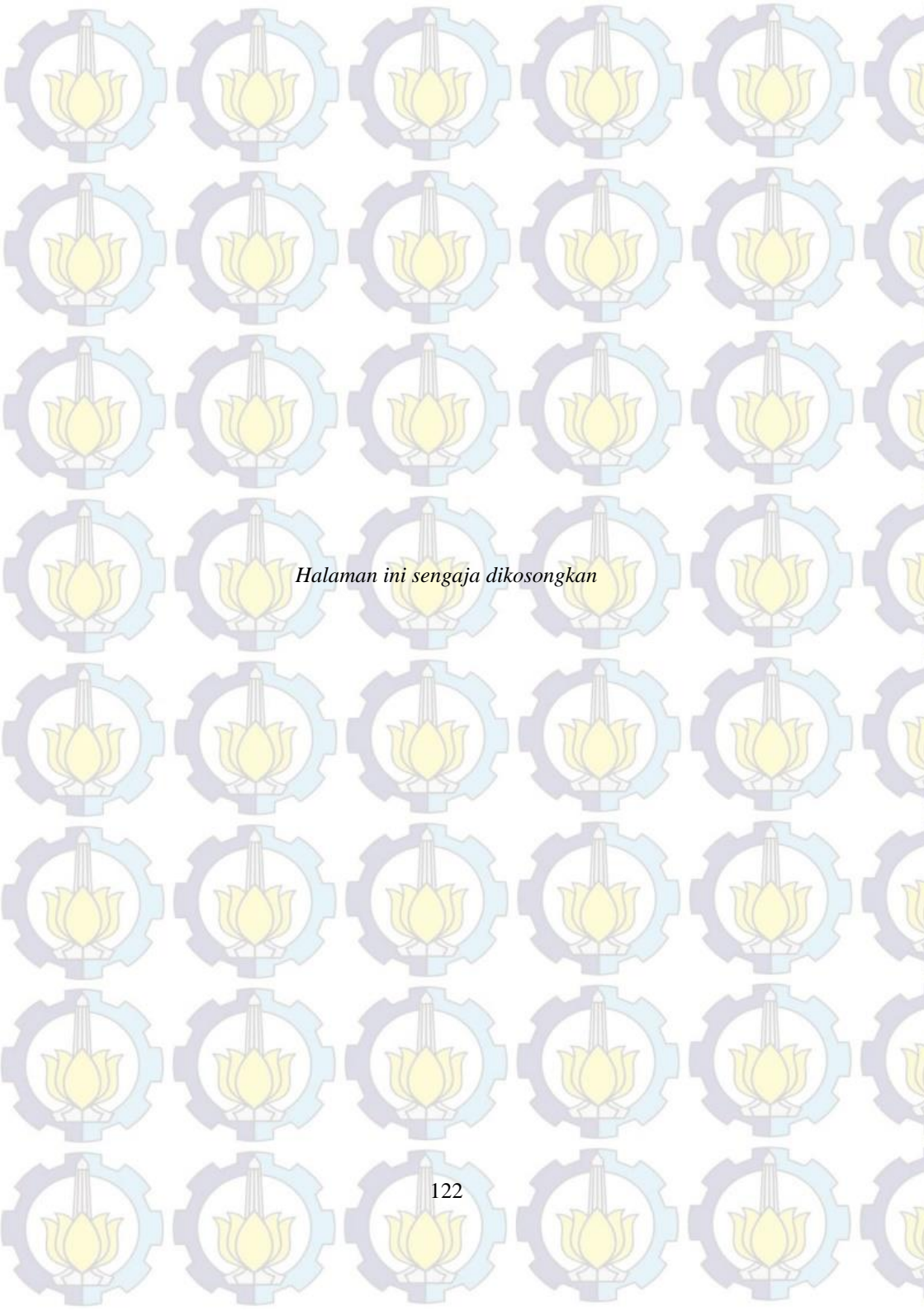
Berdasarkan hasil yang diperoleh dan analisis yang telah dilakukan , maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Program berbasis algoritma *adaptive modified firefly* dapat digunakan untuk mendapatkan nilai *TDS* yang minimum dan terkoordinasi dengan rele lainnya.
2. Hasil *TDS* yang didapat sudah sesuai dengan *constraint*, seperti waktu operasi minimum dan *CTI*
3. Program dapat digunakan untuk menghitung rele dengan level tegangan yang berbeda.
4. Rata-rata perhitungan konvergen di iterasi ke 7,2
5. Rata-rata waktu operasi rele utama adalah 0,213 detik

### 5.2 Saran

Dari Tugas Akhir ini, Penulis dapat memberikan saran untuk penelitian yang akan datang dengan topik yang sejenis sebagai berikut:

1. Mengembangkan algoritma sehingga dapat digunakan untuk *setting* rele *instantaneous*
2. Menambah pemilihan bentuk kurva dalam *library* program sehingga dapat mengubah jenis kurva dengan mudah.
3. Dapat ditambahkan *graphical user interface* sehingga pengguna akan lebih mudah dalam mengoperasikan program




*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. Anderson, *Power System Protection*. Canada: THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC., 1999.
- [2] V. R. Mahindhara, "Optimasi Time Dial Setting (TDS) Relay Arus Lebih Menggunakan Adaptive Modified Firefly Algorithm Pada Sistem Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur," Surabaya, 2016.
- [3] J. M. Ghogare dan V. N. Bapat, "Field based case studies on optimal coordination of overcurrent relays using Genetic Algorithm," 2015, hal. 1–7.
- [4] S. V. Purani dan N. S. Gandhi, "Optimal over current relay co-ordination using firefly algorithm in electrical network: A nature inspired approach," 2016, hal. 1638–1643.
- [5] N. Banerjee, R. Narayanasamy, dan O. V. G. Swathika, "Optimal Coordination of Overcurrent Relays using Two Phase Simplex method and Particle Swarm Optimization Algorithm," 2017.
- [6] Wahyudi, "*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*", Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [7] J Lewis Blackburn and Thomas J Domin, "Protective Relaying Principles and Application Third Edition", Taylor & Francis Group LLC, 2000.
- [8] Turan Gonen, "Modern Power System Analysis", Taylor & Francis Group LLC, 2013.
- [9] "IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems," *IEEE Std 242-2001™*, Dec. 2001.
- [10] X.-S. Yang dan X. He, "Firefly Algorithm: Recent Advances and Applications," 2013.
- [11] Technical Manual "MiCOM ALSTOM P342, P343, P344, P345, P346 & P391" ALSTOM.
- [12] Technical Manual "MiCOM P141, P142, P143" ALSTOM.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LAMPIRAN

```
close all
clc
clear

format long
%Input
jumlah_relay = input ('masukkan jumlah relay
:');
kv = input('masukkan tegangan relay :');
kvbase = input('masukkan kv base
:');
FLAmasukan = input('masukkan fla
:');
Isc_max_prim = input('masukkan isc max primer
:');
Isc_max_back = input('masukkan isc max backup
:');
nct = input('masukkan primer CT
:');
TDSmin = 0.025 ;
TDSmax = 1.2 ;
TDSStep= 0.025;
Target_CTI = input('masukkan Target CTI
:');
Topmin = input('masukkan waktu target minimum
:');
Topmax = input('masukkan waktu target maksimum
:');

relay_backup_primer = input('masukkan pasangan
relay :');
pasangan_relay = size(relay_backup_primer);
Pair_relay = pasangan_relay(1);
```



```

for i = 1:jumlah_relay
    FLA(i) = ((FLAmasuk(1,i)*kv(1,i))/kvbase);
end
for i = 1:jumlah_relay
    Ipickup(i) = 1.05*FLA(1,i);
end
for i = 1:jumlah_relay
    Isc_max_primer(1,i) =
        ((Isc_max_prim(1,i)*kv(1,i))/kvbase);
end
for i = 2:jumlah_relay
    Isc_max_backup(1,1) = inf;

    Isc_max_backup(1,i) =
        ((Isc_max_back(1,i)*kv(1,i))/kvbase);
end

relaysize = [1 jumlah_relay];
terbaik=100;
part=1;

%% FA Parameter
nVar=length(FLA); % Number of
Decision Variables = Total rele

VarSize=[1 nVar]; %
Decision Variables Matrix Size

MaxIt=50; % Maximum Number of Iterations

```



```
nPop=30; % Number of Fireflies (Swarm Size)
```

```
gamma=1; % Light Absorption Coefficient
```

```
beta0=2; % Attraction Coefficient Base Value
```

```
alpha=0.9; % Mutation Coefficient
```

```
alpha_damp=0.98; % Mutation Coefficient Damping Ratio
```

```
delta=0.05*(TDSmax-TDSmin); % Uniform Mutation Range
```

```
m=2; %untuk pangkat di variable beta
```

```
if isscalar(TDSmin) && isscalar(TDSmax)  
    dmax = (TDSmax-TDSmin)*sqrt(nVar);  
else  
    dmax = norm(TDSmax-TDSmin);  
end
```

```
%Firefly Template  
firefly.TDS=[];  
firefly.TimeOperationPrim=[];  
firefly.TimeOperationSek=[];  
firefly.Cost=[];  
firefly.CTI.Cost = [];  
firefly.CTI.Error = [];
```

```
%Global Best  
Best_Solution.Cost = inf;
```

```

%Create Population
for i=1:nPop

firefly(i).TDS=ceil(unifrnd(TDSmin,TDSmax,VarSiz
e)/TDSStep)*TDSStep; % bangkit random dari
varmin sampai varmax , baris var size kolom var
size

end

for i= 1:nPop
for j = 1:jumlah_relay
TDSawal(i,j) = firefly(i).TDS(j);
end
end

%Time Operation
% Evaluasi Top Relay 1 hingga ke n-1
for i=1:nPop
for j=1:Pair_relay
if Isc_max_primer(j)>30*Ipickup(j) &&
Isc_max_backup(j+1)>30*Ipickup(j+1)
for k=j:jumlah_relay

firefly(i).TimeOperationPrim(k)=0.466*firefly(i)
.TDS(k);

end

for l=j:Pair_relay

firefly(i).TimeOperationSek(l+1)=firefly(i).Time
OperationPrim(l+1);

end

```



```

        else if Isc_max_primer(j)>30*Ipickup(j)
        && Isc_max_backup(j+1)<30*Ipickup(j+1)
            for k=j:jumlah_relay
                firefly(i).TimeOperationPrim(k)=0.466*firefly(i)
                .TDS(k);

                firefly(i).TimeOperationSek(k)=firefly(i).TDS(k)
                *(13.5/((Isc_max_backup(1,k)/Ipickup(1,k))-1));

            end

        else if Isc_max_primer(j)<30*Ipickup(j)
        && Isc_max_backup(j+1)<30*Ipickup(j+1)
            for k=j:jumlah_relay
                firefly(i).TimeOperationPrim(k)=firefly(i).TDS(k)
                *(13.5/((Isc_max_primer(1,k)/Ipickup(1,k))-1));

                firefly(i).TimeOperationSek(k)=firefly(i).TDS(k)
                *(13.5/((Isc_max_backup(1,k)/Ipickup(1,k))-1));

            end
        end
    end
end
end

% Evaluasi Top Relay ke n
if j==Pair_relay
    for t=j+1
        if Isc_max_primer(t)>30*Ipickup(t)

            firefly(i).TimeOperationPrim(t)=0.466*firefly(i)
            .TDS(t);

            num2str(firefly(i).TimeOperationPrim(t),'%.10f'
            );

```

```

        else if
            Isc_max_primer(t)<30*Ipickup(t)

            firefly(i).TimeOperationPrim(t)=firefly(i).TDS(t)
            *(13.5/((Isc_max_primer(1,t)/Ipickup(1,t))-1));

        end
    end
end

%CTI
for i=1:nPop
    for j=1:jumlah_relay-1
        firefly(i).CTI.Cost(j) =
            firefly(i).TimeOperationSek(j+1)-
            firefly(i).TimeOperationPrim(j);
        firefly(i).CTI.Error(j)=
            firefly(i).CTI.Cost(j) - Target_CT1;
    end
end

%objective function
for i=1:nPop
    firefly(i).Cost =
        sum(firefly(i).TimeOperationPrim);
end

% Array to Hold Best Cost Values
BestCost=zeros(MaxIt,1);

fireflybaru.TDS = [];
fireflybaru.Cost = [];
fireflybaru.TimeOperationPrim = [];
fireflybaru.TimeOperationSek = [];

```

```

fireflybaru.CTI = [];
datafirefly.TDS = [];
datafirefly.TimeOperationPrim = [];
datafirefly.TimeOperationSek = [];

newpop = repmat(firefly,1,1);

%% Firefly Algorithm Main Loop
for it=1:MaxIt

    for i=1:nPop
        for j=1:nPop
            TDSmin = 0.025;
            TDSmax = 1.2;
            if newpop(j).Cost < newpop(i).Cost
                rij=norm(newpop(i).TDS-
                    newpop(j).TDS)/dmax;
                beta=beta0*exp(-gamma*rij^m);
                e=delta*unifrnd(-1,+1,VarSize);

                datafirefly(j,i).TDS =
                    ceil((newpop(i).TDS ...
                        +
                        beta*rand(VarSize).*(newpop(j).TDS-
                            newpop(i).TDS) ...
                        +
                        alpha*e)/TDSStep)*TDSStep;
            else datafirefly(j,i).TDS =
                firefly(i).TDS;
            end

            %hitung t operation
            for c=1:Pair_relay

```



```

        if
Isc_max_primer(c)>30*Ipickup(c) &&
Isc_max_backup(c+1)>30*Ipickup(c+1)
            for v=c:jumlah_relay
datafirefly(j,i).TimeOperationPrim(v)=0.466*data
firefly(j,i).TDS(v);

```

```

            end

```

```

            for l=c:Pair_relay

```

```

datafirefly(j,i).TimeOperationSek(l+1)=datafiref
ly(j,i).TimeOperationPrim(l+1);

```

```

            end

```

```

        else if

```

```

Isc_max_primer(c)>30*Ipickup(c) &&
Isc_max_backup(c+1)<30*Ipickup(c+1)

```

```

            for

```

```

v=c:jumlah_relay

```

```

datafirefly(j,i).TimeOperationPrim(v)=0.466*data
firefly(j,i).TDS(v);

```

```

datafirefly(j,i).TimeOperationSek(v)=datafirefly
(j,i).TDS(v)*(13.5/((Isc_max_backup(l,v)/Ipickup
(1,v))-1));

```

```

            end

```

```

        else if

```

```

Isc_max_primer(c)<30*Ipickup(c) &&
Isc_max_backup(c+1)<30*Ipickup(c+1)

```

```

            for v=c:jumlah_relay

```

```

datafirefly(j,i).TimeOperationPrim(v)=datafirefl

```

```
y(j,i).TDS(v)*(13.5/((Isc_max_primer(1,v)/Ipicku  
p(1,v))-1));
```

```
datafirefly(j,i).TimeOperationSek(v)=datafirefly  
(j,i).TDS(v)*(13.5/((Isc_max_backup(1,v)/Ipickup  
(1,v))-1));
```

```
end  
end  
end  
end
```

```
end
```

```
% Evaluasi Top Relay ke n
```

```
if c==Pair_relay
```

```
for t=c+1
```

```
if Isc_max_primer(t)>30*Ipickup(t)
```

```
datafirefly(j,i).TimeOperationPrim(t)=0.466*data  
firefly(j,i).TDS(t);
```

```
else if
```

```
Isc_max_primer(t)<30*Ipickup(t)
```

```
datafirefly(j,i).TimeOperationPrim(t)=datafirefl  
y(j,i).TDS(t)*(13.5/((Isc_max_primer(1,t)/Ipicku  
p(1,t))-1));
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
%Error CTI
```

```
for k=1:jumlah_relay-1
```

```

datafirefly(j,i).CTI.Cost(k) =
datafirefly(j,i).TimeOperationSek(k+1)-
datafirefly(j,i).TimeOperationPrim(k);

datafirefly(j,i).CTI.Error(k)=
datafirefly(j,i).CTI.Cost(k) - Target_CTI;

```

```

end

```

```

%Objective function

```

```

evaluation
datafirefly(j,i).Cost =
sum(datafirefly(j,i).TimeOperationPrim);

```

```

%Error Cost Evaluation

```

```

for k=1:jumlah_relay
if

```

```

datafirefly(j,i).TimeOperationPrim(k)<Topmin ||
datafirefly(j,i).TimeOperationPrim(k)>Topmax

```

```

datafirefly(j,i).Cost=100;

```

```

end

```

```

end

```

```

for k=1:Pair_relay

```

```

if

```

```

datafirefly(j,i).CTI.Cost(k)<Target_CTI

```

```

datafirefly(j,i).Cost=100;

```

```

end

```

```

end

```



```

end
end
%update personal best
Best.Cost = inf;
for y = 1:nPop
    Best.Cost = inf;
    for u = 1:nPop
        if
datafirefly(u,y).Cost<Best.Cost;
            newpop(y) =
datafirefly(u,y);

Best = datafirefly(u,y);
%
end
end
for j=1:nPop
datanewpop(j,it)= newpop(j);
end

%update global best
for y = 1:nPop
if newpop(y).Cost <Best_Solution.Cost
    Best_Solution = newpop(y);
end
end

for i=1:jumlah_relay
BestSolit(it,i)=Best_Solution.TDS(i);
end

%besttds and cost per iterasi

```

```

for z=1:jumlah_relay
    BestTDS(it,z) = Best_Solution.TDS(z);
end
BestCost(it)=Best_Solution.Cost;

% Show Iteration Information
disp(['Iteration ' num2str(it) ': Best Cost
= ' num2str(BestCost(it))]);

% Damp Mutation Coefficient

alpha = alpha*((1/(2*MaxIt))^(1/(MaxIt+1)));

end

for i=1:MaxIt-1
    for j=1:jumlah_relay
        Deltaerror(i,j) = BestSolit(i+1,j)-
        BestSolit(i,j);
    end
end

for i = 1:jumlah_relay
    pickup(i) =
    (ceil((Ipickup(1,i)/nct(1,i))/0.01)*0.01)*kvbase
    /kv(1,i);
end

for i = 1:jumlah_relay
    nilaipickup(i) = pickup(1,i)*nct(1,i);
end

```

```

disp(' Relay No. | pickup | Ipickup');

for m = 1:jumlah_relay
    fprintf(' %5.3g', m);
    fprintf(' %10.2f', pickup(m));
    fprintf(' %15.2f', nilaipickup(m));
    fprintf('\n');
end

disp(' DIAL TIME');
disp('=====');
disp('=====');
disp(' | Relay No. | TDS | WAKTU');
disp(' OPERASI PRIMER | WAKTU OPERASI SEKUNDER |');
disp('=====');
disp('=====');

for m = 1:jumlah_relay
    fprintf(' %13.3g', m);
    fprintf(' %13.4f', Best_Solution.TDS(m));
    fprintf(' %10.4f',
Best_Solution.TimeOperationPrim(m));
    fprintf(' %25.4f',
Best_Solution.TimeOperationSek(m));
    fprintf('\n');
end

figure
title('Best Cost')
plot(BestCost, 'LineWidth', 2);
xlabel('Iterations');
ylabel('Best Cost');
grid on

```



```

for j=1:jumlah_relay
figure;
plot(BestTDS(:,j),'LineWidth',2);
title(['TDS Rele(' num2str(j) ') ']);
end

```

```

for j = 1:jumlah_relay
figure;
plot(TDSawal(:,j),'o');
title(['Persebaran Awal TDS Rele('
num2str(j) ') ']);
end

```

```

for j = 1:jumlah_relay
figure;
plot(BestSolit(:,j),'o');
title(['Pergerakan TDS Rele('
num2str(j) ') ']);
end

```

```

for j = 1:jumlah_relay
figure;
plot(abs(Deltaerror(:,j)));
title(['Delta Error TDS Rele('
num2str(j) ') '])
end

```

```

for j = 1:jumlah_relay
figure;
plot((abs(Deltaerror(:,j))), 'o');
title(['Delta Error TDS Rele('
num2str(j) ') '])
end

```

## BIOGRAFI PENULIS



**Januardi Budi Laksono**, lahir di Sidoarjo, 15 Januari 1997. Penulis lulus dari SMA Negeri Sidoarjo pada tahun 2014 dan melanjutkan pendidikan ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Elektro Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Selama kuliah, penulis aktif di berbagai kegiatan kepanitian dan organisasi. Penulis juga terdaftar sebagai asisten Laboratorium Instrumentasi dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST).